Untersuchungen über die Auswirkungen mechanischer und physikalischer Einflüsse auf die Kompressionsbeständigkeit von Kraftstoffen.

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieur
genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Fritz Seeber
aus Breslau.

Referent:
Priv.-Doz. Dr. A. W. Schmidt

Korreferent:
Prof. Dr. H. Baer

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Dezember 1932.

HOCHSCHUL-VERLAG BRESLAU

Druck von Karl Vater :: Breslau 5 :: Siebenhufenerstraße Nr. 11/15

*20212

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

In Dankbarkeit meinen Eltern
gewidmet!

Inhaltsangabe.

Einleitung 1
A. Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden 3
B. 1. Geschichtliche Entwicklung der motorischen Prüfung. (H.U.C.R.- und Research-Methode) . . 6
B. 2. Das Kraftstoffklopfen 8
B. 3. Die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes . 11
C. Der chemische Aufbau der Kraftstoffe . . . 13
C. 1. Feststellungen Ricardo's hinsichtlich chemischer Abhängigkeit der Kraftstoffe 14
C. 2. Neue Arbeiten zur laboratoriumsmäßigen Erfassung der Ricardo'schen Erkenntnisse . . . 15
C. 3. Neue Aufschlüsse über die Kraftstoffe. Notwendigkeit der Erweiterung der Ricardo'schen Ansichten 15
C. 4. Notwendigkeit der Fixierung von Prüfbedingungen bei der motorischen Kraftstoffprüfung . . 17
C. 5. Nichtbeachtung verschiedener Einflüsse der gewählten Versuchsbedingungen 17
D. Der Prüfstand 19
D. 1. Beschreibung des Motors und der Hilfsaggregate 20
D. 2. Diskussion der verschiedenen Prüfmethoden . . 25
D. 3. Vergasereinstellungen für die verschiedenen Klopfmessungen 30
D. 4. Versuchsanordnungen und Prüfbedingungen . . 31
E. Prüfungen der verschiedenen mechanischen Einflüsse auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen . 32
a) Tourenzahl 32
b) Zündverstellung 34
c) Vergasereinstellung 36
F. Prüfungen der verschiedenen physikalischen Einflüsse auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen . 36
a) Luftansaugtemperatur 37
b) Kühlwassertemperatur 38
c) Luftfeuchtigkeit 40
G. Auswertung und Zusammenfassung 49
H. Anhang 54
Literatur 61

Die Arbeit wurde durchgeführt im Versuchslaboratorium für motorische Eignung flüssiger Brennstoffe und Schmiermittel, Technische Hochschule Breslau.

Veranlassung zu dieser Arbeit gaben die allgemein gemachten Beobachtungen der Schwankungen des Klopfwertes bei den bisher durchgeführten Kompressionsfestigkeitsbestimmungen. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Erklärung der oben erwähnten Schwankungen liefern.

Für die Anregungen zu dieser Arbeit und die Möglichkeit der Durchführung der Versuche möchte ich dem Leiter des Versuchslaboratoriums, Herrn Privat-Dozent Dr. Ing. A. W. Schmidt, meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Die Arbeit wurde am 1. Juni 1932 abgeschlossen.

Der Verfasser.

Einleitung.

Die gewaltige Entwicklung, die die Verbrennungskraftmaschine innerhalb der letzten drei Jahrzehnte erfahren hat, machte sie in unserer heutigen Energiewirtschaft zu einem bedeutenden Faktor. Dieser Fortschritt war durch die Anwendung und Ausnützung konstruktiver und wärmetechnischer Errungenschaften bedingt. Nur durch intensives Zusammenarbeiten von Konstrukteur und Wissenschaftler war diese Entwicklung möglich. Nach der rein maschinentechnischen Vervollkommnung der Verbrennungskraftmaschine und der dazu gehörenden Hilfsaggregate wurde der Energiequelle größere Aufmerksamkeit geschenkt, da man an der Tatsache des chemischen Zusammenhanges und der Energieumsetzung eines Kraftstoffes im Motor nicht mehr vorübergehen konnte.

Aus der Erkenntnis, daß die Kraftstoffprüffrage und in Abhängigkeit davon die Kraftstoffkunde großen Einfluß auf die weitere Entwicklung des Verbrennungsmotors ausüben kann, hat sich ungefähr seit 1921 eine neue Teilwissenschaft gebildet.

Immer mehr erkannte man, daß dem unterschiedlichen Verhalten der Kraftstoffe bei ihrer Energieauslösung besondere Beachtung geschenkt werden müßte. Bislang war die Mehrzahl dieser Erörterungen meistens auf rein theoretischer Basis fundiert. Indessen zeigten die motorischen Kraftstoffprüfungen bisher nicht gekannte Auswirkungen. Man lernte durch die motorische Kraftstoffprüfung die Erscheinung des Klopfens eines Kraftstoffes als das typische Charakteristikum für die Bewertung eines Kraftstoffes kennen. Zur Uebersicht der bis jetzt vorliegenden wissenschaftlichen und praktischen Erfahrungen und Theorien seien folgende Ausführungen gemacht.

A. Chemisch-physikalische Untersuchungsmethoden.

Bis vor kurzem waren die Fragen der Verwendungsmöglichkeiten der Kraftstoffe für die einzelnen Verbrennungskraftmaschinen durch rein kaufmännische und zolltechnische Erwägungen bedingt. Die Wahl der Kraftstoffe nach derartigen Gesichtspunkten lag aber keineswegs im Interesse der Leistungsausnutzung und des thermischen Wirkungsgrades der Verbrennungskraftmaschine. Eine Ueberprüfung der so gewählten Kraftstoffe erfolgte bisher allein durch physiko-chemische Untersuchungsmethoden. Ob mit diesen Analysendaten unter den heutigen Voraussetzungen allen Anforderungen Genüge geleistet wird, erscheint sehr fraglich.

Man verlangt von einem guten Kraftstoff die Eigenschaften der Reinheit, der guten Verdampfbarkeit, weiterhin geringste Neigung zur Rückstandsbildung (Gumbildung), ferner keine Anwesenheit von korrodierenden Bestandteilen und als letzte Forderung eine möglichst hohe Festigkeit in bezug ungewollter Energieumsetzungen.

Für die Bewertung von Kraftstoffen waren bislang Siedeanalyse und spez. Gewicht die ausschlaggebenden Faktoren. Bei der Bestimmung der Siedeanalyse, also der Verdampfbarkeit der verschiedenen Kraftstoffe, ist es üblich festzustellen, wieviel Volumenprozent bei bestimmten Temperaturintervallen übergehen. Der Verlauf der Siedekurve — dies gilt für Leicht- wie Mittelkraftstoffe — gibt Aufschluß über die Anspringmöglichkeit (Siedebeginn), die Gemischbildung (Kernfraktion) und die Oelverdünnung (Siedeschwanz). Da nun ein Vergleich der einzelnen Siedekurven sehr schwierig ist, schlug Wa. Ostwald eine Kennziffer (K. Z.)[1]), die mittlere Siedetemperatur, zum Vergleiche der einzelnen Kraftstoffe vor. Diese Kennziffer gestattet je nach Größenordnung derselben Aussagen über die Flüchtigkeit eines Kraftstoffes. Jedoch gibt auch diese Kennziffer, also der Verlauf der Siedeanalyse, keinen Aufschluß oder Anhaltspunkt über die motorische Auswirkung des Kraftstoffes.

Die Begutachtung der Kraftstoffe an Hand ihres spez. Gewichtes zur Charakterisierung der motorischen Eignung und Brauchbarkeit ist wertlos und hat heute nur kaufmännische und zolltechnische Bedeutung. Denn Kraftstoffe, die annähernd gleiche spez. Gewichte und gleichen Verlauf der Siedekurven haben, können ein grundverschiedenes motorisches Verhalten aufweisen. Zur Ergänzung dieser Tatsache sei im Gegensatz dazu noch erwähnt, daß das motorische Verhalten von Kraftstoffen trotz des verschiedenen spezifischen Gewichtes und des verschiedenen Verlaufes der Siedekurve sich ähneln kann.

Aus den Abbildungen 1. und 2. geht diese Erkenntnis deutlich hervor.

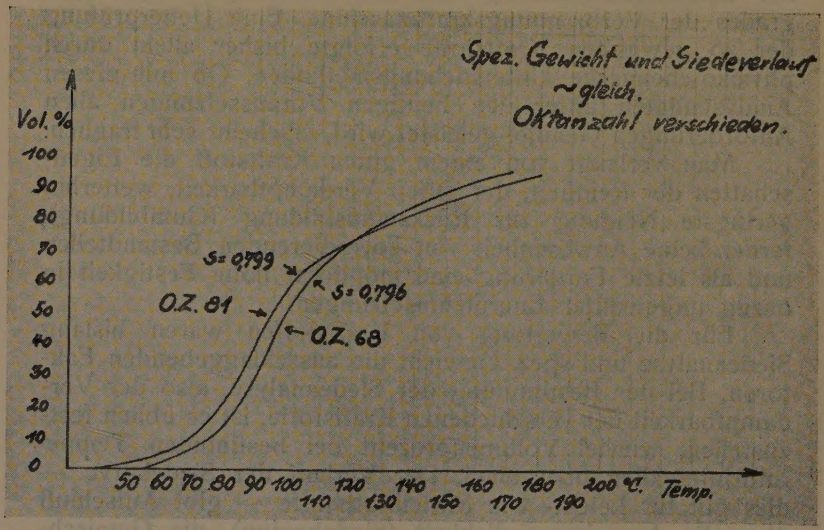


Bild 1.

Die oft angestrebte große Leichtflüchtigkeit von Kraftstoffen hat durch die Möglichkeit der besseren Zerstäubung bei neuzeitlichen Vergasern sehr an Bedeutung verloren[2]). An dieser Stelle sei auch noch auf den Heizwert der verschiedenen Kraftstoffe hingewiesen. Eine Beurteilung derselben, hinsichtlich ihrer motorischen Eignung, kann von dieser Seite aus nicht vorgenommen werden.

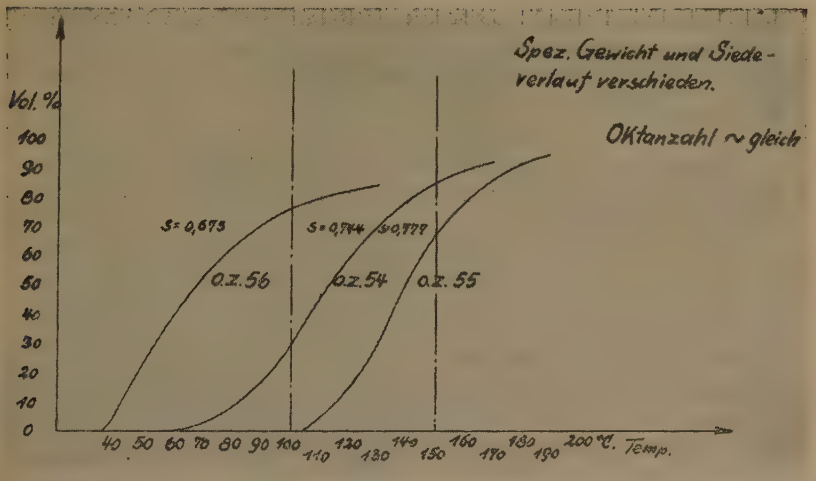


Bild 2.

Es seien hier einige Heizwerte angeführt:

1. Handelsübliches Benzin ca. 10 500 WE u. Heizwert
2. Benzin-Benzolgemisch (60/40) 10 140 „
3. Benzin-Benzol-Alkoholgemisch (60/25/15) 9 675 „
4. Benzol 9 600 „
5. Alkohol 6 500 „
6. Petrol ca. 10 600 „
7. Gasöl 8 000—11 000 WE

Die Versuche, die Kraftstoffe im Zusammenhang mit ihrem jeweiligen Zündpunkt[3]) zur Beurteilung ihrer motorischen Eigenschaften heranzuziehen, zeitigten bis jetzt keine einwandfreien nennenswerten Ergebnisse.

Die Forderung der Abwesenheit von korrodierenden Bestandteilen (sog. Kupfertest) ist auf die motorische Eigenschaft eines Kraftstoffes primär ohne Einfluß; das gleiche gilt von der Rückstandsbildung. Diese Einflüsse verschlechtern den mechanischen Zustand des Motors und wirken sich damit erst in zweiter Linie auf den Verbrennungsvorgang aus.

Die Bestimmung von korrodierenden Verbindungen in Kraftstoffen geschieht mittels des Korrosionstestes. Restlos befriedigende Methoden zur Bestimmung dieser wichtigen Tatsache sind noch nicht gefunden. Eine oft geübte Bestimmungsart ist die Kupferstreifenmethode[4]).

Es muß immer wieder mit größtem Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß die angeführten Analysen-Vorschriften nicht im geringsten die Auswirkungen der Kraftstoffe im Motor erfassen können. Durch derartige Analysen wird nur das Verhalten der Kraftstoffe vor der Verbrennung charakterisiert.

Eine weitere Beurteilung der nach der Kompression im Motor stattfindenden Vorgänge ist an Hand der erwähnten Daten nicht möglich.

Die bisherigen Ausführungen erbringen deutlich den Beweis dafür, daß der motorischen Kraftstoffprüfung die Schlüsselstellung in der endgültigen Beurteilung eines Kraftstoffes zukommt. Denn allein die motorische Prüfung erfaßt die tatsächlichen Beanspruchungen, welchen die Kraftstoffe im Motor ausgesetzt sind. Die motorische Ueberprüfung der Kraftstoffe ist daher unumgänglich. Gleichzeitig können durch die motorische Ueberprüfung die chemischen Analysenbefunde erhärtet und praktisch erprobt werden.

Die motorische Kraftstoffprüfung ist mit der Materialprüfung von Werkstoffen zu vergleichen. Bei beiden Prüfungen sind die Prüfungsbedingungen, nämlich Prüfung im Betriebszustande, die gleichen.

Soll die Güte eines festen, flüssigen und gasförmigen Energieaufbaustoffes bestimmt werden, so muß diese Ueberprüfung im sogenannten „Betriebszustande" erfolgen.

Diese im allgemeinen Maschinenbau längst berücksichtigte Erkenntnis bei der Begutachtung von Werkstoffen muß auch auf die bisher nicht in den Untersuchungsbereich gezogenen Energiestoffe ausgedehnt werden.

B. 1. Geschichtliche Entwicklung der motorischen Prüfung.

Aehnlich den bei der Prüfung von Werkstoffen angeschnittenen Problemen liegen die zu beobachtenden Tatsachen bei der Beurteilung des Verhaltens der Kraftstoffe im Motor. Es ist unbestritten das Verdienst Ricardos[5]), die Frage der motorischen Prüfung der Kraftstoffe aufgenommen und den Weg zu dieser Untersuchung gewiesen zu haben. Ricardo ging, von der Unvollkommenheit der bisherigen Beurteilungsmöglichkeiten der Kraftstoffe überzeugt, von der Voraussetzung aus, daß eine Charakterisierung eines Kraftstoffes im wesentlichen nur an Hand seines Verhaltens

im Motor selbst möglich ist. Als erster unternahm er derartige Untersuchungen mit seiner Spezialmaschine.

Ricardo gelang es, mit Hilfe seines Versuchsmotors mit veränderlicher Verdichtung während des Prüflaufes die „Wertigkeit, d. h. Kompressionsfestigkeit" der verschiedenen Kraftstoffe festzustellen, und zwar auf zweierlei Arten:

1. durch Erreichung eines höchstmöglichen wirtschaftlichen Kompressionsverhältnisses bei größter Leistung und schwach beginnendem Klopfen;
2. durch die Wahl zweier Bezugskraftstoffe. Der eine Bezugskraftstoff war ein sehr klopffreudiges Benzin — sog. Testbenzin — der andere der Versuchskraftstoff.

Die unter 1. angegebene Prüfungsart wird als H.U.C.R.-Methode und die 2. Untersuchungsweise als Research-Methode bezeichnet.

Es wurde nun dem Testbenzin Toluol hinzugefügt, bis diese Mischung die gleiche Klopftendenz des zu untersuchenden Kraftstoffes erreicht hatte.

Der Toluolgehalt der Bezugsmischung gibt dann den sog. Toluolwert des Kraftstoffes an. In Deutschland wird als Antiklopfmittel in der Hauptsache statt Toluol B. V.-Benzol verwandt; dies führt zu dem Benzol-Wert. Als internationale Maßeinheit wird die Oktanzahl angestrebt. An Stelle des Testbenzins tritt n-Heptan und für B.V.Benzol bezw. Toluol iso-Octan. Unter der Octanzahl versteht man also die Zahl, die angibt, wieviel Volumenprozent iso-Octan dem n-Heptan hinzugefügt worden sind. Der große Vorzug dieser beiden chemischen Körper liegt in ihrer einheitlichen chem. Struktur. Sie lassen sich daher immer in gleicher Güte herstellen. Allein der teure Herstellungspreis dieser chem. Körper ist der Grund, weshalb man in Deutschland diese Testkraftstoffe allgemein noch nicht einführen konnte.

Man verwendet daher diese Normal-Kraftstoffe nur zur Eichung sogenannter Substandards, und erst diese zieht man zum Vergleich der Kraftstoffe heran.

Die Einführung von „Bezugskraftstoffen" machte die Beurteilung der „Klopffestigkeit eines Kraftstoffes" grundsätzlich von der Konstruktion des Prüfmotors (s. a. a. O.) unabhängig, weil die Fehlerquellen, die durch die einzelnen Konstruktionselemente auftreten, sich aufheben. Voraussetzung ist, daß der Bezugskraftstoff in seinen Eigenschaften bekannt ist.

Ueber das motorische Verhalten der Kraftstoffe haben besonders die Amerikaner weitergearbeitet. Eine Mitarbeit von seiten Deutschlands war bislang infolge der wirtschaftlichen Notlage in nur sehr beschränktem Maße möglich. Um jedoch auch in Deutschland in diesen wichtigen Fragen vorwärts zu kommen, schlossen sich verschiedene Laboratorien im Rahmen des DVM, Ausschuß 48 b, zu einer Arbeitsgemeinschaft zusammen. Die Versuche und Ergebnisse werden in den Berichten der deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt e. V. Berlin-Adlershof veröffentlicht[6]).

Das Ziel dieser Untersuchungen ist die Normung der Kraftstoffe, die jedoch an Hand der bis jetzt vorliegenden Versuchsergebnisse noch nicht möglich war.

B. 2. Das Kraftstoffklopfen.

Zu allererst ist das Kraftstoffklopfen nicht mit Lager- oder Kolbenklopfen zu verwechseln, das oft nach längerer Betriebszeit eines Motors auftritt und rein mechanischen Ursprungs ist.

Das Kraftstoffklopfen, kurzweg Klopfen genannt, macht sich durch ein eigenartiges, scharf metallisch klingendes Geräusch bemerkbar. Das Klopfen wird durch das ungünstige Verhalten der Kraftstoffe gegen Druck- und Temperatursteigerungen hervorgerufen.

Der durch das Kraftstoffklopfen hervorgerufene metallische Klopfton ist von allen anderen Motorgeräuschen in ganz besonderer Weise zu unterscheiden. Der Klopfton wird durch die Zylinderwände nach außen übertragen. Dieses „Wahrnehmen" kann subjektiv — (akustisch) — skalametrisch geschehen. Auf diese Angelegenheit wird später bei der Kritik des Motors eingegangen.

Zur weiteren Erklärung muß noch angeführt werden, daß das Kraftstoffklopfen zu unterscheiden ist von dem Klopfen, welches durch Frühzündungen hervorgerufen wird. (Glühen, Heißwerden der Kerzen, des Auslaßventiles). Zunderbildungen und Kohleabscheidungen begünstigen fernerhin ein vorzeitiges Kraftstoffklopfen. Alle diese Möglichkeiten werden bei dem im Hochschullaboratorium stehenden Versuchsmotor dadurch ausgeschaltet, daß der Zylinderkopf des Motors häufig entfernt und der Verbrennungsraum von Rückständen gesäubert wird.

Die Mehrzahl der wissenschaftlichen Arbeiten, die über das Kraftstoffklopfen berichten, haben sich in der Hauptsache mit den Auswirkungen der Klopferscheinungen befaßt, weniger mit dem Nachgehen auf die Frage, was Klopfen an sich ist.

Der mit dem Klopfen gleichzeitig auftretende Leistungsabfall macht sich deutlich bemerkbar. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß das Klopfen schon dann akustisch wahrnehmbar ist, ehe ein Leistungsabfall beobachtet wird. Der Leistungsabfall ist demnach kein Maß oder Anhalt zur Beurteilung der Klopffestigkeit eines Kraftstoffes.

Es wurde nun zuerst versucht, die Klopferscheinungen mittels gebräuchlicher Indikatoren zu erfassen[7]). Die bis in neuester Zeit vorgenommenen Versuche zeitigten jedoch immer wieder solche Resultate, die bei nochmaliger Ueberprüfung zeigten, daß die Unregelmäßigkeiten in den Indikatordiagrammen — die als Klopferscheinungen gedeutet wurden — auf Eigenschwingungen der Indikatoren beruhten.

Erst in neuester Zeit gaben Arbeiten von Schnauffer[8]), die bei der deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt in Berlin ausgeführt wurden, neue und beachtenswerte Resultate zur Definition der Klopferscheinung. Diese Feststellungen wurden mit Hilfe von oszillographischen Meßmethoden angestellt. Dieses elektrische Meßverfahren beruht auf der Tatsache der Beobachtung der Flammenbewegung und Flammenausbreitung im Zylinder schnellaufender Verbrennungskraftmaschinen.

Genauere Erklärungen der Resultate von Schnauffer stehen noch aus. Die Ergebnisse der genannten Arbeit zeigen jedoch einwandfrei, daß das Kraftstoffklopfen durch einen plötzlichen Uebergang von Verbrennung zur Explosion hervorgerufen wird.

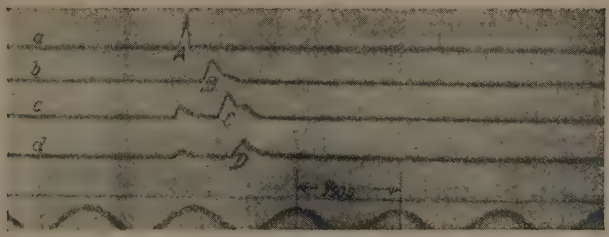


Abbildung 3.

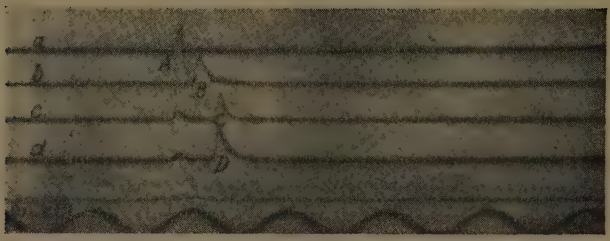


Abbildung 4.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen den Verlauf der Verbrennungswellen, die Schnauffer mittels Oszillographen in einem Einzylindermotor feststellte. Abbildung 3 veranschaulicht die Vorgänge bei nicht klopfendem Betrieb. Abbildung 4 bei klopfendem Betrieb. Bei klopffreier Verbrennung findet ein stetes Wandern der Zündzeitpunkte statt. (Verbrennung). Die Entzündung des Gemisches findet bei den jeweiligen Meßstellen B, C und D. nacheinander statt. Bei klopfendem Betrieb erfolgt die Entzündung des Restgemisches bei den Meßstellen C und D gleichzeitig. (Explosion des Restgemisches).

Um diesen ungewollten Zerfall der Kraftstoffe, das Kraftstoffklopfen, chemisch zu erklären, wird eine Peroxydbildung der Kraftstoffbestandteile angenommen[2])[9]). Und zwar besagt diese Theorie, daß infolge der Temperatur und Drucksteigerung, die das Kohlenwasserstoffgemisch beim Verdichtungshube erfährt, Wasserstoff abgespalten werden soll. Diese im statu nascendi frei werdenden Wasserstoffvalenzen sollen dann 0_2 anlagern, wobei sich Peroxyde bilden. Von diesen Peroxyden wissen wir, daß sie leicht explosionsartig zerfallen und auf diese Weise einen ungünstigen Einfluß auf die Verbrennung ausüben können, vorausgesetzt, daß sie vorhanden sind. Andererseits vermutet man die Möglichkeit einer Knallgasbildung beim Auftreten des Klopfens. Wie schon oben erwähnt, können die abgespaltenen Wasserstoff-Moleküle mit dem Sauerstoff der Ansaugluft in einem solchen Verhältnis auftreten, daß die Knallgasbildung eintreten kann. Abschließend kann gesagt werden, daß diese Theorien zur Erklärung des Klopfvorganges niemand beweisen konnte, da die hypothetischen Zwischenprodukte nicht isoliert werden konnten.

Im allgemeinen begnügte man sich damit, den unerwünschten Begleiterscheinungen, die das Klopfen hervorrufen, zu begegnen und dieselben unschädlich zu machen.

B. 3. Die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes.

Zwischen dem durch die Motorkonstruktion festgelegten konstruktiven Kompressionsverhältnis und dem für den Kraftstoff erträglichen Kompressionsverhältnis besteht ein grundlegender Unterschied. Zur Erläuterung dieser Tatsache seien folgende Ausführungen gemacht.

Das angesaugte Kraftstoffluftgemisch wird in der Verbrennungskraftmaschine, bevor die Zündung die Verbrennung einleitet, zu einem bestimmten Verdichtungsvolumen komprimiert.

Es hat sich nun gezeigt, daß die Formgebung des Verbrennungsraumes einen großen Einfluß auf die Kompressionsfestigkeit von Kraftstoffen ausübt. Dieses verschiedene Verhalten der Kraftstoffe bei ihrer Energieauslösung bezeichnet man als Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes. Ein Kraftstoff ist also bei einem bestimmten Höchstverdichtungsverhältnis dann kompressionsfest, wenn keine ungewollte Zersetzung des Kraftstoffes — Kraftstoffklopfen — auftritt.

Ricardo zeigte in seinen Versuchsarbeiten[3]), wie stark sich die Einflüsse der verschiedenen Formgebungen der Verbrennungsräume hinsichtlich der Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes praktisch auswirken können.

Gestalt des Verbrennungsraumes	Verdichtungsverhältnis	Leistung und Wirkungsgrad v. H.
Dachform, 4 Ventile, Zündkerze in der Achse	5,4 : 1	100
5 Ventile, senkrecht hängend Zündkerze in der Achse Hubverhältnis 2 : 1	5,4 : 1	100
Ventile senkrecht hängend 2 Zündkerzen einander gegenüber	5,2 : 1	97
Ventile senkrecht hängend 1 Zündkerze an der Seite	5,0 : 1	94

Gestalt des Verbrennungsraumes	Verdichtungsverhältnis	Leistung und Wirkungsgrad v. H.
Einlaßventil über Auspuffventil Zündkerze in der Achse	4,7 : 1	87
Einlaßventil über Auspuffventil Zündkerze in der Ventilkammer	4,5 : 1	85
Einlaßventil über Auspuffventil Zündkerze gegenüber der Ventilkammer	4,2 : 1	80
Seitliche Ventile. Besonders gute Wirbelung. Hubverhältnis 1,4 : 1 (Ricardo-Kopf)	4,9 : 1	88
Seitliche Ventile. Besonders gute Wirbelung. Hubverhältnis 2 : 1 sonst ähnlich. (Ricardo — Kopf)	5,0 : 1	90
Seitliche Ventile. Uebliche Bauart Zündkerze in der Achse des Verbrennungsraumes	4,6 : 1	80
Seitliche Ventile. Uebliche Bauart. Zündkerze gerade über Einlaßventil	4,4 : 1	77
T-Kopf. Zündkerze in der Achse des Zylinderkopfes	4,6 : 1	80
T-Kopf. Zündkerze gerade über Einlaßventil	4,2 : 1	75

Aus dieser Tabelle ersieht man, wie wichtig die Forderung eines einigermaßen einheitlich gestalteten Verbrennungsraumes bezüglich der Kompressionsfestigkeit und der Leistungsausnutzung eines Kraftstoffes bei Versuchen über vergleichende motorische Kraftstoffprüfungen ist.

Um den Auswirkungen des Kraftstoffes im Motor Genüge zu tun, kam es zur Entwicklung des Ricardo-Kopfes. Mit ihm wurde versucht, konstruktiv die Aufgabe zu lösen, den für den Kraftstoff günstigsten Verbrennungsraum (Halbkugelform) unter Berücksichtigung der erforderlichen maschinentechnischen Maßnahmen durchzubilden.

Aus diesen Ueberlegungen geht deutlich hervor, wie stark das Kraftstoffkompressionsverhältnis durch konstruktive Maßnahmen beeinträchtigt oder gefördert werden kann. Die Größe des konstruktiven Kompressionsverhältnisses ist also maßgebend für die Wahl des Kraftstoffes, mit dem der

Motor betrieben werden soll. Aufschlüsse, inwieweit ein Kraftstoff diesen Anforderungen entspricht, gibt allein das im Prüfmotor festgestellte ertragbare Kraftstoffkompressionsverhältnis. Die Frage der zu wählenden Verdichtung eines Motors ist heute also nicht nur eine Motoren-, sondern auch eine Kraftstoffangelegenheit.

Betreffs der Wahl des Prüfmotors sei mitgeteilt, daß die Versuche der vergleichenden Kraftstoffuntersuchungen in Deutschland gezeigt haben, daß trotz der Verschiedenheit der einzelnen Prüfmotoren bei Innehaltung der vorläufigen deutschen Prüfbedingungen, auf die später eingegangen wird, die Klopfbestimmungen unabhängig von den jeweiligen Prüfmaschinen geschehen können. Die auftretenden Schwankungen der Prüfwerte betrugen ± 3 Prozent des Benzolwertes[6]).

Ob es notwendig sein wird, eine spezielle Type für den Prüfmotor auszubilden, ist noch umstritten. Diese Bewegung hat besonders in Amerika viele Anhänger.

C. Der chemische Aufbau der Kraftstoffe.

An dieser Stelle sei kurz auf den chemischen Aufbau der in Frage kommenden Kraftstoffe eingegangen.

Bekanntlich sind Benzine und die Gemischkraftstoffe Benzin/Benzol, Benzin/Benzol/Alkohol (augenblicklich 15prozentiger Alkoholzusatz), sowie Benzin/Alkohol (Monopolin) (25 % jetziger Alkoholzusatz) die gebräuchlichsten Kraftstoffe die in Deutschland zum Betrieb der Vergasermotoren dienen. Für die Petrolvergasermotoren kommt als Kraftstoff der sog. Traktorenkraftstoff, höher siedende Fraktionen des Erdöles in Frage.

Das Erdöl liefert den Hauptanteil der konsumierten Benzin- und Traktorentreibstoffe.

Die Erdöldestillate, die bis 170/180° C sieden, werden als Benzine, die Fraktionen von 150° bis 280/290° C, als Traktorentreibstoffe bezeichnet.

Benzol ist hingegen ein Produkt der Steinkohlenteerdestillation.

Alkohol ist ein Gärungsprodukt stärkemehlhaltiger Rohmaterialien.

Ferner erzeugt die IG-Farbenindustrie seit längerer Zeit einen synthetischen Kraftstoff (Leuna-Benzin), der

durch Druckhydrierung gewonnen wird. Als Ausgangsprodukte kommen in Frage:

1. Steinkohlenteerderivate;
2. Braunkohlenteerderivate;
3. Erdöl.

Weiterhin findet in Deutschland als Kraftstoff das Braunkohlenbenzin Verwendung. Dieses Produkt fällt bei dem Schwelprozeß von Rohbraunkohle an.

Das Erdöl ist ein Gemisch der verschiedensten und verschiedenartigsten Kohlenwasserstoffverbindungen. Die Kenntnis des chemischen Aufbaues der Kohlenstoff-Verbindungen ist für die Klopfwertmessungen von größter Bedeutung. Die KW-Verbindungen gehören nun in der Hauptsache drei verschiedenen Reihen an und zwar:

a) der Paraffinreihe;
b) der Naphthenreihe;
c) der Aromatenreihe.

Diese Reihen unterscheiden sich in ihrem chemischen Aufbau dadurch, daß bei den Paraffinkohlenwasserstoffen die C H Gruppen kettenförmig aneinander gefügt sind, während sie bei den Naphthenen- und Aromatenkohlenwasserstoffverbindungen ringförmig gebunden sind.

C. 1. Feststellungen Ricardo's hinsichtlich chemischer Abhängigkeit der Kraftstoffe.

Schon Ricardo brachte den Nachweis dafür, daß die Kraftstoffe, die reich an Aromaten sind, sich als besonders klopffest erweisen. Weniger klopffest sind die Naphthene und an letzter Stelle stehen die Paraffine.

Gleichzeitig stellte Ricardo fest, daß alle Mischungen dieser Bestandteile den gewöhnlichen Proportionalitätsgesetzen folgen und geradlinige Beziehungen zwischen dem Mischungsverhältnis zweier oder mehrerer Kohlenwasserstoffe und dem Verdichtungsverhältnis, bei welchem das Kraftstoffklopfen auftritt, bestehen.

Diese von Ricardo zuerst ausgesprochene Erkenntnis gab der Chemie der Kraftstoffe einen neuen Impuls. Wie schon angeführt, wies Ricardo mit der motorischen Prüfung der Kraftstoffe neue Wege, die der Aufklärung der Zusammenhänge zwischen dem chemischen Aufbau und der motorischen Eignung der Kraftstoffe dienlich waren.

C. 2. Neue Arbeiten zur laboratoriumsmäßigen Erfassung der Ricardo'schen Erkenntnisse.

Die durch Ricardo's Arbeiten gefundenen neuen Erkenntnisse gaben den Anstoß zu versuchen, mit einfachen, laboratoriumsmäßigen Analysenmethoden die motorische Eignung der Kraftstoffe festzulegen und weiterhin das Problem der chemischen Zusammensetzung der Kraftstoffe auf diesem Wege zu lösen.

Man verließ den üblichen Weg der Prüfmethoden von Kraftstoffen, wie spez. Gewicht, Siedekurve, Kennziffer etc. Es wurde versucht, den Aufbau der einzelnen Benzinkohlenwasserstoffgruppen dadurch zu erfassen, daß man das selektive Lösungsvermögen von Schwefelsäure verschiedener Konzentrationen zur Bestimmung der Ungesättigten[10]) und Aromaten benutzte. Die Naphthene suchte man durch die Anilinpunktmethode[11]) zu erfassen. Sie hat in ihrer heutigen Form jedoch nur begrenzten Wert, da mit ihr nur Benzinkohlenwasserstoffe bis zu einem Siedeende von 180/190° C analysiert werden können. Die Paraffine werden aus der Differenz

100 — (Ungesättigte + Aromaten + Naphthene)

ermittelt.

Es wurde an Hand dieser chemischen Gruppenanalysen versucht, rechnerisch einen Toluol- bezw. Benzolwert zu ermitteln. Dieser Versuch mißlang. Die Ueberprüfung der auf dem chemischen Wege erhaltenen Resultate zeigte keine Uebereinstimmung mit den Werten, die die motorische Prüfung ergab. Die chemische Analytik war zwecks gewünschter Beurteilung zu grob. Die für diesen Zweck angewandten Bestimmungsmethoden kranken daran, daß wohl die einzelnen Körpergruppen, jedoch nicht der individuelle Aufbau dieser Körpergruppen erfaßt wird. Daß diese Ansichten zu Recht bestehen, wird durch die folgenden Ausführungen bekräftigt.

C. 3. Neue Aufschlüsse über die Kraftstoffe. Notwendigkeit der Erweiterung der Ricardo'schen Ansichten.

In der Zwischenzeit war man der Lösung dieser Probleme von einer anderen Seite dadurch nachgegangen, daß man chemisch reine Substanzen herstellte und dieselben

motorisch überprüfte. Dabei zeigten sich, entgegen den ersten Arbeiten von Ricardo, Ungenauigkeiten bezüglich der Bewertung der einzelnen Kohlenwasserstoffgruppen.

Es wären hier zuerst die eingehenden Arbeiten der Amerikaner Lovell, Campbell und Boyd[12]) zu erwähnen. Ferner sind die Arbeiten: „Ueber die Beziehungen zwischen Konstitution und Klopffestigkeit von Kohlenwasserstoffen"[13]) und „Ueber die Zusammenhänge zwischen chemischem Aufbau und Klopffestigkeit von Kraftstoffen"[14]) in diesem Zusammenhange anzuführen.

Die Arbeiten zeigten nun folgende Resultate:

1. Die Klopffestigkeit der Aromaten wird durch die Art und Zahl der Radikale beeinflußt.
2. Aehnliche Ergebnisse ergeben sich bei den Naphthenen. Die Kompressionsfestigkeit derselben ist wesentlich geringer.
3. Die ungesättigten Verbindungen sind in frischem Zustand gleichfalls als Antiklopfmittel zu bezeichnen. Es erfolgt jedoch eine rasche Abnahme der Klopffestigkeit durch die auftretenden Alterungserscheinungen.
4. Die normalen Paraffine verlieren mit wachsender Kette ihre Klopffestigkeit.
5. Bei den isomeren Paraffinen erhöht sich durch die Verzweigung der Ketten die Klopffestigkeit.
6. Die Klopffestigkeit der Olefine sinkt beim Lagern in vielen Fällen.

Diese angeführten Tatsachen ergaben die Notwendigkeit der Differenzierung der Ricardo'schen Erkenntnisse.

Die angeführten Ergebnisse dieser neuen Arbeiten liefern den Beweis dafür, daß die bisher übliche Beurteilung der Klopffestigkeit von Kohlenwasserstoffverbindungen nach den großen Gruppen, also ihrem Gehalte an Aromaten, Naphthenen und Paraffinen durchaus nicht allein maßgebend ist. Im besonderen gilt diese Feststellung für die motorischen Auswirkungen bei den Aromaten und Paraffinen. Damit kann die Ansicht vertreten werden, daß nur der individuelle Aufbau der KW-Verbindungen, der jedoch mit den seither geübten Analysenmethoden nicht erfaßt werden kann, ausschlaggebend für den Aufschluß über die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes ist.

Die motorische Kraftstoffprüfung gibt also einzig und allein die wirkliche Aufklärung über die Klopffestigkeit von Kraftstoffen.

C. 4. Notwendigkeit der Fixierung von Prüfbedingungen bei der motorischen Kraftstoffprüfung.

Die neuen Anregungen, die die Kraftstoffchemie durch die motorischen Untersuchungen bekam, wirkten sich in der Weise aus, daß viele Stellen Arbeiten über die motorischen Prüfungen aufnahmen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten waren jedoch mit mannigfaltigen Unstimmigkeiten behaftet, und zwar derart, daß die gefundenen Werte vielfach nicht reproduzierbar waren.

Es wurden daher bald Stimmen laut, die in der Methode der motorischen Prüfung der Kraftstoffe auch kein zuverlässiges Maß zur Bestimmung der Kompressionsfestigkeit sehen wollten.

Es mußte nun festgestellt werden, ob diese Erscheinungen prinzipieller Natur waren, oder ob andere, bisher nicht beobachtete Einflüsse daran Schuld waren.

Mit dieser Erkenntnis trat die Bewegung der motorischen Prüfung in ein neues Stadium ein. Es wurde notwendig, die breite Basis dieser Arbeiten in einen engeren Rahmen zu zwingen. Die Einigung der Durchführung von Klopfwertmessungen führte in Deutschland zur vorläufigen Festlegung der Prüfbedingungen durch den Ausschuß 48 b des DVM. Mit diesen ersten Prüfbedingungen wurde die Wahl der Tourenzahl, Zündung, Vergasereinstellung, Luftansaugtemperatur und der Kühlwassertemperatur vorerst festgelegt. Eingehend wird darüber später in Abschnitt D. 4. berichtet.

C. 5. Nichtbeachtung verschiedener Einflüsse der gewählten Versuchsbedingungen.

Die in allerneuester Zeit durchgeführten vergleichenden motorischen Kraftstoffprüfungen zeigten jedoch immer noch nicht vollständig übereinstimmende Endresultate. Die gefundenen Benzolwerte der geprüften Kraftstoffe schwankten immer noch um ein erhebliches Maß[6]). Es mußte nun festgestellt werden, ob andere Einflüsse noch maßgebend waren, oder ob Unzulänglichkeiten der Prüfmethode vorlagen. Bekannt war der Einfluß der mechanischen Prüfkomponenten, wie Tourenzahl, Zündverstellung und Vergasereinstellung. Jedoch waren diese Einflüsse nur qualitativ festgelegt.

Man hatte bisher diese Erscheinungen nur unter dem Gesichtswinkel des Leistungsabfalles oder der Leistungssteigerung betrachtet, ohne auf die Zusammenhänge dieser Größen mit der Kompressionsfestigkeit der Kraftstoffe zu achten. Aehnlich lagen die Verhältnisse bezüglich der Bewertung der Einflüsse der Luftansaugtemperatur und der Kühlwassertemperatur. Die Größenfestlegung dieser physikalischen Prüfkomponenten war in letzter Zeit durch das Bestreben, den Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschinen möglichst warm zu halten, maßgebend beeinflußt. Es hat jedoch in neuester Zeit den Anschein, als ob man von dieser Ansicht abweichen wollte. Diese Bestrebungen sind rein motorentechnischer Art und werden unter dem Gesichtswinkel der Leistungsauswirkung der Verbrennungskraftmaschine betrachtet. Es ist jedoch auch wahrscheinlich, daß die Klopfneigung der Kraftstoffe die Wahl dieser Prüfkomponenten beeinflußt.

Dem Einfluß der übrigen physikalischen Prüfkomponenten, wie Luftfeuchtigkeit und Luftdruck, auf die Klopfmessungen hatte man bisher keinerlei Beachtung geschenkt. Quantitative Messungen, inwieweit die physikalischen Prüfkomponenten die Klopfmessungen beeinträchtigen, lagen nicht vor.

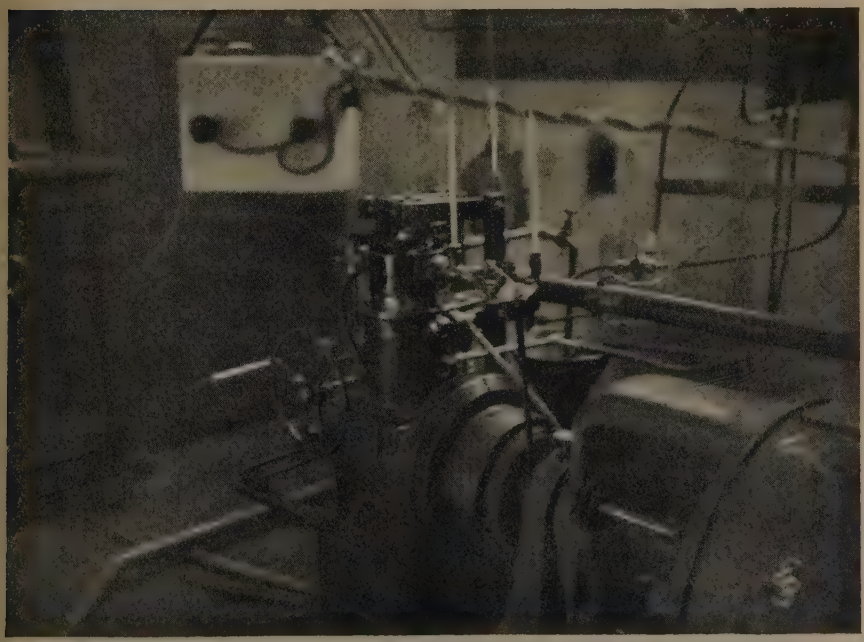
Die Aufgabe dieser Arbeit liegt in der quantitativen Erfassung obengenannter Einflüsse auf die Kompressionsbeständigkeit von Kraftstoffen. Hierbei sei festgestellt, daß bei den heute durchgeführten, vergleichenden motorischen Untersuchungen diesen Einflüssen bereits dadurch Rechnung getragen wird, daß man die H. U. C. R. - Methode sehr selten anwendet und hauptsächlich mit der Research-Methode arbeitet. Diese Methode nimmt, bei Verwendung einwandfreier Bezugskraftstoffe, die durch physiko-chemische Einflüsse entstehenden Fehlerquellen auf. Dadurch wird das Prüfungsresultat nicht beeinflußt. Anders liegen die Verhältnisse im praktischen Betrieb; deshalb erschien es mir notwendig, die Fehlerquellen festzustellen und möglichst quantitativ festzulegen. Sollte sich bei diesen Versuchen zeigen, daß die vorgenannten Prüfkomponenten einen Einfluß auf die Bestimmung des Klopfwertes von Kraftstoffen ausüben, so ist es notwendig, daß die bisherigen Prüfbedingungen eine Abänderung erfahren.

D. Der Prüfstand.

Durch den Bau eines Motors mit veränderlicher Verdichtung ist es möglich, die neuauftretenden Vorgänge bei Höher-Komprimierung des Kraftstoffes, sowie den Einfluß der verschiedenen Prüfkomponenten auf den Kraftstoff ohne Montagearbeiten zu beobachten und zu bewerten.

Der zu diesem Zweck gebaute Motor mit veränderlicher Kompression, siehe Abbildung 5, ist in Anlehnung an den Horning-Versuchsmotor gebaut worden. Die Bauart des Motors mit veränderlicher Kompression während des Prüflaufes wurde schon deshalb dem Motor mit nur veränderlicher Kompressionsverstellung während einer Betriebspause vorgezogen, um die Möglichkeit zu besitzen, sämtliche Einflüsse ohne Umschaltpause studieren zu können.

Abbildung 5.



Gesamtansicht des Prüfmotors.

Seit ca. $2^1/_2$ Jahren wurden Versuche in der hier erwähnten Weise unternommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen konnten, da sich das Laboratorium an diesen Versuchen gemeinsam mit der schon erwähnten Forschungsgemeinschaft beteiligt hat, kontrolliert werden[6]).

D. 1. Beschreibung des Motors und der Hilfsaggregate.

Der zum Zwecke der Kraftstoffprüfung gebaute Prüfmotor ist ein Einzylinder-Viertaktmotor. Die hauptsächlichen Daten der Maschine sind folgende:

Hubvolumen	498,5	cm^3
Hub	104	mm
Zylinderbohrung ca.	78,14	mm ∅

Der Motor ist so dimensioniert und ausgeführt worden, daß auch die höchsten praktisch möglichen Drucke und Temperaturen ohne weiteres aufgenommen werden können. (Siehe Bild 6 und 7).

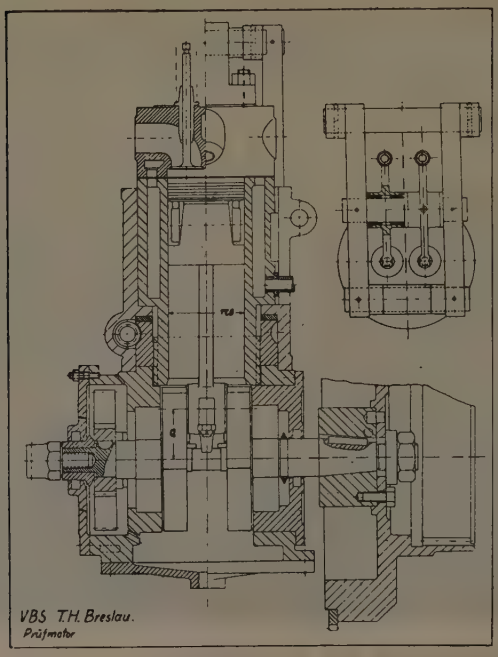


Bild 6.

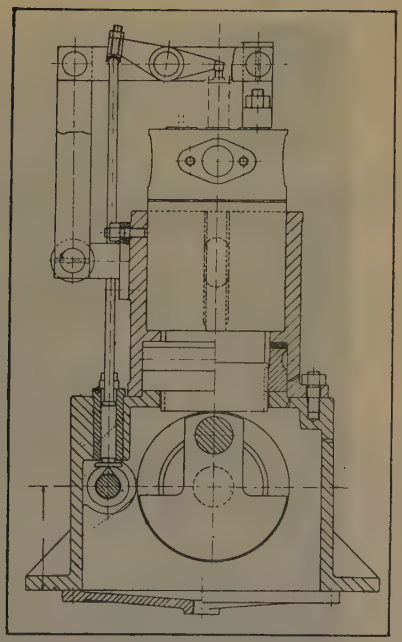


Bild 7.

Mit Hilfe eines Handrades (Schneckenübersetzung) wird während des Laufes der Versuchsmaschine der Verbrennungsraum geändert, und zwar dergestalt, daß der Zylinderkopf zusammen mit dem Vergaser gehoben bezw. gesenkt wird. Durch diese Vorrichtung ist es möglich, den Explosionsraum zu vergrößern oder zu verkleinern und damit das motorische Kompressionsverhältnis zu verringern oder zu erhöhen. Das Kompressionsverhältnis kann von 1 : 10 bis 1 : 4 variiert werden.

Der Verbrennungsraum ist zylindrisch ausgebildet und verliert durch Kompressionsverstellung nie seine ursprüngliche Gestalt.

Das jeweilige Kompressionsverhältnis wird mittels einer Schublehre festgestellt. (Siehe Abbildung 8). Der eine Schenkel der Schublehre ist am Zylinderkopf, der andere am Gehäuse befestigt; die abgelesene Zahl wird mittels einer Tabelle in das entsprechende Kompressionsverhältnis umgerechnet (Hausskala). Die Eichkurve gestattet dann die Angabe im Benzolwert bezw. Oktanwert, bei dem der geprüfte Kraftstoff klopft.

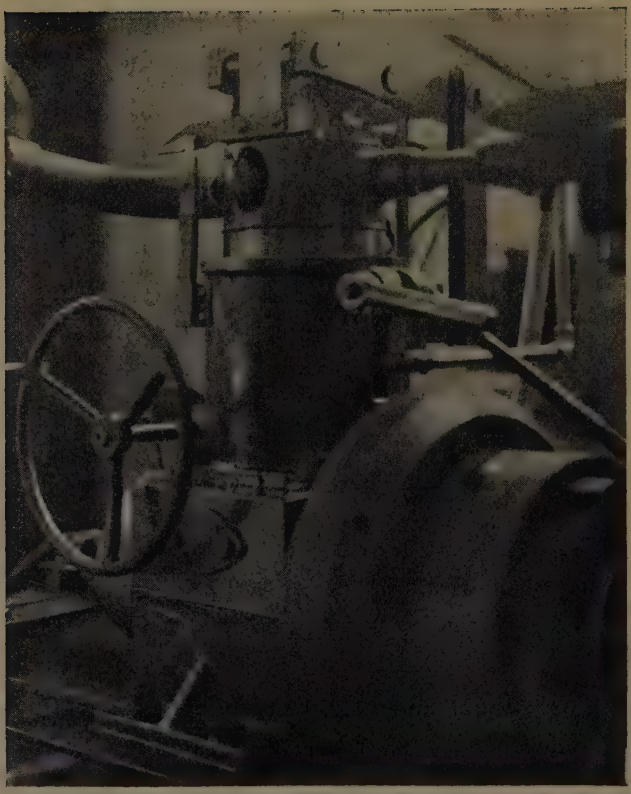


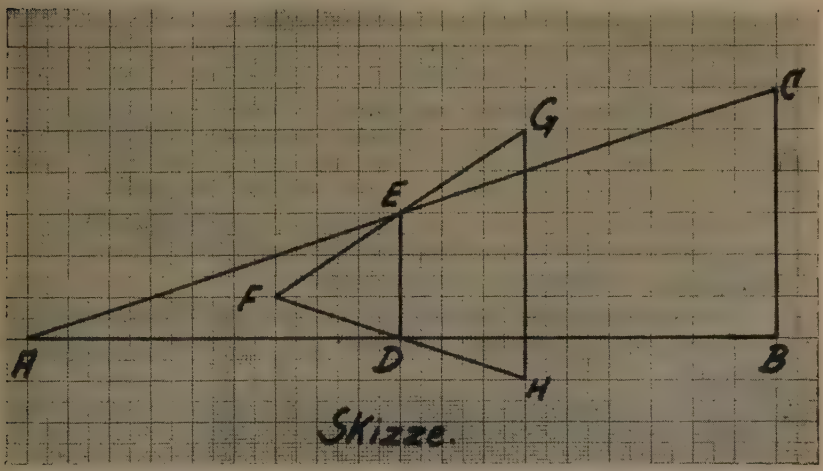
Bild 8.

Der Motor besitzt zwei Zündkerzenbohrungen, die seitlich, gegenüberliegend im Zylinderkopf angeordnet sind. Im allgemeinen wird mit einer Zündkerze gearbeitet und zwar mit einer Boschkerze Type M 45/2. Die andere Zündkerzenbohrung ist dann durch die außerbetriebgesetzte Zündkerze verschlossen. Den Zündstrom liefert eine Batterie. Der Unterbrecher wird durch eine Zahnradübersetzung von der Kurbelwelle her betrieben. Die Zündung, mit Hand verstellbar, kann je nach Wunsch geregelt werden, und zwar bis 25° Zündung vor oberem Totpunkt und 10° nach oberem Totpunkt.

·Die Ventilsteuerung geschieht im Gegensatz zur Ricardo'schen Versuchsmaschine durch eine Nockenwelle. Um die gleiche Ventileinstellung während der Kompressionsänderung gewährleisten zu können, ist eine Hebelvorrichtung vorgesehen, die ein konstantes Ventilspiel ermöglicht.

Der geometrische Nachweis für die Beibehaltung des konstanten Ventilspieles bei Aenderung des Kompressionsverhältnisses im ganzen Bereich des beschriebenen Versuchsmotors ist in der folgenden, nicht maßstäblichen Skizze dargestellt.

Die Skizze stellt eine Parallelprojektion des Gestänges dar. Der folgenden Betrachtung ist die Stellung bei geöffnetem Ventil zu Grunde gelegt, wobei BC die Höhenänderung des Zylinderkopfes und FH den Kipphebel in seiner zu AB gehörigen Stellung bedeutet.



Skizze.

In dem Dreieck ABC ist: $\frac{E\ D}{C\ B} = \frac{D\ B}{A\ B}$

$$AD = DB = \tfrac{1}{2}\ AB$$

$$\frac{E\ D}{C\ B} = \frac{\tfrac{1}{2}\ A\ B}{A\ B} = \tfrac{1}{2}$$

Somit ist: $E\ D = \tfrac{1}{2}\ C\ B$

In dem Dreieck FGH ist: $\frac{G\ H}{E\ D} = \frac{F\ H}{F\ D}$

$$FD = DH = \tfrac{1}{2}\ FH$$

$$\frac{G\ H}{E\ D} = \frac{F\ H}{\tfrac{1}{2}\ F\ H} = 2$$

$$GH = 2\ ED = 2 \times \tfrac{1}{2}\ CB$$

Damit ist: $G\ H = C\ B$, was zu beweisen ist.

Die gewählten Konstruktionsabmessungen der Längen AB und BC erlauben die Vernachlässigung der geringfügigen Verschiebung von Punkt A.

Die Ventile sind hängend, symmetrisch auf der oberen Zylinderkopffläche angeordnet.

Die Ventilzeiten sind folgende:

Oeffnen Einlaß: im oberen Totpunkt;
Schließen Einlaß: 36° nach unterem Totpunkt;
Oeffnen Auslaß: 43° vor unterem Totpunkt;
Schließen Auslaß: 7° vor oberem Totpunkt.

Der Kolben besteht aus Grauguß, die Kolbenbodenfläche sowie die Zylinderkopffläche sind eben begrenzt. Der Kolben besitzt drei Kolbenringe.

Die Kühlung des Motors beruht auf der Frischwasserkühlmethode. Es wird die Eintritts- wie Austrittstemperatur gemessen.

Die Abgase verlassen den Zylinder durch einen mit großem Radius versehenen Krümmer, daran schließt sich ein elastischer Auspuffschlauch. Eine Erschütterung des Motors tritt infolge Kompressionsverstellung deshalb nicht ein.

Die Kurbelwelle läuft in Kugellagern, um bei den Temperaturschwankungen möglichst wenig Reibung zu erhalten. Die Schmierung erfolgt durch die sog. Tauchschmierung. Die Temperatur des Oeles kann jeder Zeit mit Hilfe eines im Kurbelkasten (Oelsumpf) angebrachten Thermometers gemessen werden.

Um die erzeugte Leistung genau messen zu können, ist die Versuchsmaschine mit einem Pendeldynamo mittels einer elastischen Kupplung verbunden.

Zum Vergasen der Kraftstoffe dient ein Pallas-Vergaser, Type HJ (intensiv). Die Drosselklappe des Vergasers ist bei den Versuchen immer vollständig geöffnet.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, in dem Verbindungsstutzen zwischen Vergaser und Verbrennungsraum die Gemischtemperatur zu messen.

Um die Luftfeuchtigkeit der Ansaugluft zu messen, ist folgende Vorrichtung vorgesehen. Das Luftansaugrohr mündet in zwei leichten Bögen in einen Holzbehälter. Der Lufteintritt in diesen vollständig abgedichteten Raum ist so angeordnet, daß ein bloßes Durchströmen der Luft nicht stattfindet. Ein Präzisions-Haar-Hygrometer zeigt mit großer Genauigkeit die relative Feuchtigkeit der Ansaugluft an.

Um die relative Feuchtigkeit der Ansaugluft auf jeden gewünschten Prozentsatz relativer Feuchtigkeit einzuregulieren, ist folgende Einrichtung vorgesehen.

Bevor die Ansaugluft in den Ausgleichbehälter gelangt, kann sie gezwungen werden durch Einsatzfilter, die mit einem Trocknungsmittel gefüllt sind, zu streichen. Die Luft kann also „getrocknet" werden. Eine ähnliche zweckentsprechende Vorrichtung versieht das „Nässen" der Ansaugluft.

D. 2. Diskussion der verschiedenen Prüfmethoden.

Die bei den Versuchen erzielten Resultate sind nachprüfbar, da für diese Versuche der gleiche Testkraftstoff — russisches Grosny-Benzin — verwendet wurde, wie er bei den jetzt allgemein durchgeführten Versuchen zur Festlegung der Klopfwertmessungen in Deutschland zu Grunde gelegt wurde.

An Hand der Eichkurve, die bei Kraftstoffversuchen im Rahmen von vergleichenden motorischen Untersuchungen festgelegt wurde, wird der jeweilige Benzol- oder Octanwert des untersuchten Kraftstoffes ermittelt.

Der Einwand, daß bei besagtem Prüfmotor die gefundenen Klopfwerte nur subjektiv-akustisch, also durch Abhören festgestellt werden, und nicht mit dem Springstab (bouncing-pin), wird durch die verschiedensten Tatsachen abgeschwächt, ja sogar vollständig entkräftet.

Von vornherein sei festgestellt, daß die anderen in Frage kommenden Prüfmotoren, bei denen das Klopfen

mittels eines Beschleunigungsgerätes, z. B. „bouncing-pin" wahrgenommen wird, zuerst auch durch Einstellung mittels des Gehörs geeicht werden müssen. Es kann sich also selbst schon bei diesem Eichvorgang eine Fehlerquelle einschleichen.

Zum Vergleich der einzelnen Meßmethoden ist es wertvoll, auf die Frage der Meßgenauigkeit bei Klopfwertmessungen überhaupt einzugehen. Durch die Anwendung des „Springstabes" (bouncing-pin) oder ähnlicher Beschleunigungsgeräte will man die subjektive Ungenauigkeit, die bei akustischen Meßmethoden vorliegen soll, beseitigen. Die schon erwähnten Untersuchungen von Schnauffer[8]) lassen etliche Zweifel aber aufkommen, ob die mechanisch — objektiven — skalametrischen Messungen nicht ebenfalls Fehlerquellen unterworfen sind.

K. Schnauffer weist eindeutig bei seinen Druckmessungen im Verbrennungsraum nach, daß alle Klopfwertmessungen mit Beschleunigungsgeräten, die nicht im Klopfzentrum, also nicht auf dem letzten Abschnitte des Verbrennungsweges vorgenommen werden, ungenau sind.

Andererseits kann von der Gehör-Prüfmethode ohne weiteres gesagt werden, daß zwischen „hören und hören" sehr große Differenzen in Bezug der Klopfwertmessungen vorkommen können. Dies stimmt. Es erscheinen daher diese Meßunterschiede umso größer, je ungeübter das Ohr des Prüfenden auf den Versuchsmotor eingestellt ist.

An dieser Stelle sei auf die Vergleichsversuche, die mit dem bouncing-pin Apparat und der akustischen Prüfung an verschiedenen Stellen vorgenommen worden sind, hingewiesen. Zum Beispiel fand Neil Mac Coull, daß die Uebereinstimmung dieser beiden Prüfmethoden durchaus genügend ist. Die Abweichungen betragen im Durchschnitt $1^1/_2$ % des Benzolwertes. Weiterhin schreibt Mac Coull in seiner Abhandlung, daß eine Aufklärung dieser kleinen Abweichungen zur Zeit nicht möglich wäre, und daß sich die Ungenauigkeiten wahrscheinlich als Irrtümer herausstellen werden. Vielleicht ist der Aufklärung der Irrtümer damit gedient, daß der bouncing-pin Apparat nicht genau im Klopfzentrum angebracht worden ist, und vielleicht auch manche Prüfkomponenten nicht beachtet wurden.

Jedenfalls ist die Genauigkeit unserer Prüfmethode vollkommen ausreichend, um Vergleiche mit anderen in Frage kommenden Instituten anstellen zu können.

Um im Bereiche der praktisch verwertbaren Messungen zu bleiben, ist es notwendig, die Frage der Meßgenauigkeit überhaupt bei derartigen Klopfwertmessungen aufzuwerfen. Hat es letzten Endes einen Sinn, die Meßgenauigkeit bis auf $\frac{1}{1000}$ zu treiben? Diese übertriebenen Wertmessungen werden beim praktischen Betriebe der Vergasermotore vollkommen illusorisch.

Die Festlegung der Klopfgrenze eines Versuchskraftstoffes mit einem Kompressionsverhältnis von 1 : 5,23 oder 1 : 5,27 dürfte wohl für den praktischen Vergaserbetrieb schon äußerst verfeinert sein. Denn die verschiedenen Einflüsse wie z. B. das Innehalten einer bestimmten Kühlwassertemperatur ist im praktischen Fahrdienst nicht denkbar. Dazu kommt noch die Tatsache, daß die Lagerung der Kraftstoffe[6]), sowie die dauernd schwankenden Witterungskomponenten (Luftdruck, Luftfeuchtigkeit etc.) eine übertriebene Meßgenauigkeit ohnehin schwierig gestalten und sich von selbst verbieten, solange man deren Einflüsse nicht kennt. Deshalb erscheint es mir für die Praxis vollkommen ausreichend, die Klopfgrenze, oben erwähntes Beispiel zugrunde gelegt, mit 1 : 5,2 oder 1 : 5,3 festzulegen. Für Studienzwecke kann eine genaue Fixierung von vorübergehender Bedeutung sein, doch sollte man nicht vergessen, daß wissenschaftliche Prüfbedingungen im praktischen Motorenbetriebe einzuhalten, unmöglich ist. Man sollte daher bedacht sein, mit den Klopfmessungen auf dem Boden der Wirklichkeit zu stehen.

In diesem Zusammenhange ist es notwendig, auf die bei vergleichenden motorischen Kraftstoffmessungen eingehaltene Prüftourenzahl von 800/min. einzugehen. Diese verhältnismäßig niedrige Tourenzahl erscheint bei flüchtiger Betrachtung zunächst als unbegründet. Eine Uebertragung der auf dieser Basis gefundenen Werte auf praktische Verhältnisse könnte als unzulässig angesprochen werden, da die Tourenzahl der modernen Kraftwagenmotoren in weit höherem Bereich liegt. In der folgenden Tabelle sind die in Deutschland gebräuchlichsten Prüfmotoren mit der allgemein üblichen Tourenzahl angegeben.

Bauart	Umdr./min.	Meßmethode
Armstrong	750	Springstab
Delco	600	„
I. G. - Prüfmotor V	600	„
I. G. - Prüfmotor I	1000	„
C. F. R. - Maschine	600	„
Horning-Motor	800	Gehör
BMW-Motor	800	„
Vario-Opel	1000	„

Die amerikanischen Prüfmaschinen laufen zum größten Teil mit 800 Umdr./min.

Die bei vergleichenden motorischen Kraftstoffmessungen üblichen Tourenzahlen bewegen sich also zwischen 600 und 1000 Umdr./min. Heute wendet man tunlichst 800 Umdr./min. an.

Die später durchgeführten Klopfversuche unter Abänderung der Drehzahl zeigen deutlich, daß mit steigender Umdrehungszahl das Klopfmoment eines Kraftstoffes äußerst schwierig erfaßt wird. Derjenige Punkt des Klopfens, bei dem zum ersten Mal der scharfe, gleichmäßige Klopfton auftritt, soll das Klopfcharakteristikum sein. Auch die Verwendung des Springstabes verbietet eine höhere Tourenzahl, da der bisher entwickelte Springstab-Indikator zu träge ist. Er reagiert weder auf schwaches Klopfen, noch liefert er bei Tourenzahlen von mehr als 1000 Umdr./min. befriedigende Ergebnisse. Für Klopfmessungen bei höheren Tourenzahlen erscheint daher die Entwicklung einer einwandfrei arbeitenden objektiven Abhörmethode notwendig.*)

---

*) Nach Abschluß dieser Arbeit erschienen in der amerikanischen Literatur neue Berichte über die Entwicklung der Klopfmeßtechnik[19]). Den oben beschriebenen Unzulänglichkeiten glaubt man durch die Entwicklung des sog. „Strobophonometers“ zu begegnen. Diese Arbeiten sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

Weiterhin sind in der neuesten amerikanischen Literatur Abhandlungen über Klopfmessungen, die am fahrenden Motor auf der Landstraße vorgenommen wurden, veröffentlicht worden.

Der Versuch, die am stationären Prüfmotor gefundenen Werte in der Praxis zu überprüfen, geschieht in Amerika häufig mit einer Fahrgeschwindigkeit von 24—32 km/Std.[20])

Der immer mehr zur allgemeinen Einführung zu Klopfmessungen propagierte CFR-Motor läuft mit einer Tourenzahl von 600 Umdr./min., soll aber laut den letzten amerikanischen Berichten auf 800/900 Umdr./min. erhöht werden.

Der Prüfmotor ist bei sachgemäßer Behandlung und bei vollständig ausgeglichenem Wärmezustand einwandfrei auf jedes Kompressionsverhältnis von 1 : 10 bis 1 : 4 einzustellen. Das Klopfen muß über die ganze Zeit des Abhörens gleichmäßig wahrnehmbar sein. Die Einstellungen auf die verschiedenen Kompressionsverhältnisse erfolgen binnen weniger Sekunden und zwar ohne jegliche größere Kraftanstrengung.

Eigenartig ist das verschiedene Verhalten der Kraftstoffe im Prüfmotor bei der Festlegung ihres jeweiligen Klopfmomentes. Es konnte bei den Klopfbestimmungen festgestellt werden, daß die Benzine, vor allen die straight-run Benzine, einen sehr großen Klopfbereich besitzen. Die Fixierung des richtigen Klopfmomentes ist daher mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Dagegen konnte bei der Bestimmung des motorischen Verhaltens von Gemischkraftstoffen ein kurzer Klopfbereich beobachtet worden.

Die Erfassung des richtigen Klopfmomentes bei der motorischen Prüfung der Kraftstoffe ist also nicht nur durch die Motorkonstruktion bedingt, sondern auch durch die Zusammensetzung der Kraftstoffe.

Der zweite Teil des 240. Geschäftsberichtes der DVL über „Vergleichende motorische Prüfungen von Kraftstoffen", sowie die neuen Berichte Kf 40/13 III zeigen einwandfrei, daß die im Hochschullaboratorium gefundenen Werte im Vergleich mit den Mittelwerten der anderen elf Prüfstellen, die zum größten Teil mit dem bouncing-pin-Apparat ermittelt wurden, in der Gesamtabweichung an zweitniedrigster Stelle liegen. Dieses Ergebnis aus der Praxis der Bewertung von Kraftstoffen zeigt wohl am eindruckvollsten, wie verläßlich die Gehörmessung dieses Versuchsmotors ist. Auffallend ist ferner die gute Uebereinstimmung der Werte des Vierzylindermotors „Opel" des Benzol-Verbandes, Bochum, mit dem Einzylindermotor.

Die Tourenzahl des Versuchsmotors, an dem die in dieser Arbeit wiedergegebenen Ergebnisse erzielt wurden, entspricht mit 800 Umdr./min. und Zugrundelegung eines Uebersetzungsverhältnisses von 1 : 4 im Wechselgetriebe durchaus den oben angeführten praktischen Verhältnissen.

Wie wichtig und von welch großer Bedeutung die Gestaltung des Verbrennungsraumes für die Klopfmessungen ist, wurde schon an anderer Stelle erwähnt.

Gerade in dieser Hinsicht liegen die Vorteile unseres Versuchsmotors gegenüber dem sonst üblichen Armstrong Prüfmotor, dessen Verbrennungsraumgestaltung ungünstig ist, da sich dessen Form bei der Verstellung der Kompression ändert.

D. 3. Vergasereinstellungen für die verschiedenen Klopfmessungen.

Zur allgemeinen Beurteilung des beschriebenen Versuchsmotors und zur Festlegung der wirtschaftlichsten Vergasereinstellung bei den heute am meisten gebrauchten Kraftstoffen, wie Benzin und Benzin-Benzol-Gemischen, wurden Kraftstoffmessungen (siehe Anhang) durchgeführt. Unter diesem Gesichtswinkel wurde ein

Markenbenzinkraftstoff A,

und ein Markenbenzinbenzolgemisch D

geprüft. Für die weiteren untersuchten Kraftstoffe

Kraftstoff B (russisches Naturbenzin) und

Kraftstoff C (minderwertiges Benzin)

wurde dieselbe Vergasereinstellung wie bei Kraftstoff A gewählt.

Nach Erreichung des konstanten Wärmezustandes des Motors wurden diese Messungen ausgeführt. Es wurden nach Festlegung der einzelnen Daten bei den verschiedenen Brennstoffdüsen (die Luftzusatzdüse wurde auch geändert), die Leistungs- und Kraftstoffverbrauchskurven aufgezeichnet. Um Fehlmessungen zu verhüten, wurden je drei Messungen angestellt und daraus das Mittel gezogen.

Ich muß bemerken, daß bei diesen Kraftstoffmessungen der Lufttrichter nicht geändert wurde. Die richtige Größe des Lufttrichters wurde bei früheren Versuchen bei der allgemein üblichen Versuchsmotorentourenzahl festgelegt. Es wurde bei diesen Kraftstoffmessungen angestrebt, das Verhalten des Kraftstoffes im Motor zu beurteilen, nicht aber eine allgemein gültige Charakteristik des Versuchsmotors durchzuführen.

Außerdem wurden Leistungs- und Kraftstoffverbrauchskurven bei Aenderung der Umdrehungszahl von 700 bis 1000/min festgelegt. Die eine Kurve wurde auf Grund der größten Wirtschaftlichkeit bei hoher Leistung, die andere auf Grund der besten Höchstleistung bei annehmbarem Kraftstoffverbrauch ermittelt. Höhere Tourenzahlen wurden nicht berücksichtigt, da sie für Klopfmessungen nicht in Frage kommen. Bei den später vorgenommenen Untersuchungen wurde die wirtschaftlichste Einstellung des Vergasers zugrunde gelegt.

D. 4. Versuchsanordnungen und Prüfbedingungen.

Aller Wahrscheinlichkeit nach dürfte es also nicht so sehr auf die „Hörmethode" bei den Prüfmotoren ankommen, sondern einzig und allein auf die Gestaltung des Motors, d. h. den Verbrennungsraum, die Ventilanordnung etc. und die Prüfbedingungen. Dieselben sind im Ausschuß 48 b des DVM vorläufig festgelegt.

Bei besagtem Prüfmotor wird bei vergleichenden motorischen Untersuchungen folgendes beachtet.

Nach einer ungefähren Betriebseinlaufzeit von 50 min ist der Wärmezustand des Versuchsmotors erreicht, und es sind ohne Schwierigkeiten folgende Daten einzuhalten:

Kühlwasseraustrittemperatur: ca. 80° C.
Oeltemperatur: 45—55° C.

Außer diesen Temperaturen werden dann bei einem Prüflauf folgende Daten konstant gehalten:

Luftansaugtemperatur: 40—42° C.
Drehzahl der Maschine: 800 Umdr./min.
Zündung: 13° vor oberem Totpunkt.

Die beiden letzten Daten sind durch die Erreichung eines besten Wirkungsgrades durch den Prüfmotor von selbst bestimmt. Weiterhin werden beachtet:

Luftdruck
rel. Luftfeuchtigkeit
Temperatur des Raumes
„ „ Gemisches
„ „ Frischkühlwassers.

Alle diese Versuchsbedingungen werden bei einer Kraftstoffprüfung möglichst konstant gehalten.

Sämtliche vorhandenen Prüfgeräte wie Barometer, Hygrometer und Thermometer wurden teils vom meteorologischen Institut Breslau-Krietern, teils im Laboratorium selber durch Präzisionsvorrichtungen geprüft und geeicht.

E. Prüfungen der versch. mechan. Einflüsse auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen.

Nach diesen Vorarbeiten konnte an die Ausarbeitung der zu untersuchenden Einflüsse geschritten werden. Es sei nochmals betont, daß als Grundeinstellung für den Versuchsmotor die bislang vorgeschriebenen Prüfvorschriften des Ausschusses 48 b des DVM innegehalten wurden.

Die Beobachtung der verschiedenen mechanischen Einflüsse auf die Klopffestigkeit der Benzinkraftstoffe A, B und C, sowie des Gemischkraftstoffes D erstrecken sich auf folgende Punkte:

a) Tourenzahl;
b) Zündverstellung;
c) Vergasereinstellung.

Um diese Einflüsse einzeln betrachten zu können, wurden die jeweiligen Prüfkomponenten sorgfältig konstant gehalten, der Einfluß der zu untersuchenden Größe festgestellt und durch dauernde Ueberprüfung erhärtet. Die Vergasereinstellung wurde je nach dem zu prüfenden Kraftstoff gewählt. Es sei noch mitgeteilt, daß bei den Besprechungen der einzelnen Einflüsse nur ein charakteristisches Beispiel herausgegriffen wird. Ferner sei nochmals darauf hingewiesen, daß es bei den durchgeführten Untersuchungen nur darauf ankam, die Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes durch Aenderung verschiedener Prüfkomponenten festzulegen, ohne Rücksicht auf eintretende Leistungsänderungen. Dieselben lagen nicht im Bereiche der vorliegenden Betrachtung.

a) Tourenzahl.

Zuerst sei der Einfluß der Tourenzahl der verschiedenen Kraftstoffe bei der Bestimmung ihrer Klopffestigkeit diskutiert. Es wurden folgende Werte ermittelt:

Tabelle 1.

n	Kraftstoff A			B			C			D		
	Kompr	B.W.	O. Z	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O.Z.*
700	1:5,21	31	62/63	1:5,10	26	59/60	1:4,93	15	53	1:6,12	59	82
800	1:5,41	41	69/70	1:5,35	39	68	1:5,03	21	56/57	1:6,42	63/64	85/86
900	1:6,05	57	81	1:5,70	51	76/77	1:5,33	38	67	1:7,05	71/72	90
1000	1:6,66	66/67	88	1:6,03	57	81	1:5,56	46/47	73	1:7,35	74/75	93/94
Gesamtänderung der Oktanzahl:		26			22			20				12

Zur besseren Uebersicht wurden diese Werte in Tafel 1 aufgezeichnet. Die Auswertung des Versuchsmaterials zeigt deutlich eine wesentliche Steigerung der Klopffestigkeit bei Erhöhung der Umdrehungszahl. Dieses Resultat steht im Widerspruch mit den im Verlaufe der weiteren Untersuchungen erhaltenen Ergebnissen. Ich komme darauf noch später zurück. Die gefundenen Kompressionswerte der verschiedenen Tourenzahlen eines jeden Kraftstoffes schmiegen sich allgemein an eine Gerade an. Es kann also scheinbar von einem linearen Anstieg der Klopffestigkeit bei Aenderung der Tourenzahl gesprochen werden. Vergleicht man die Gesamtänderung der Oktanwerte der drei Benzinkraftstoffe A, B und C mit der Aenderung des Oktanwertes des Gemischkraftstoffes D, so zeigt sich, daß bei Erhöhung der Tourenzahl von 700—1000 Umdr/min das Klopfbestreben bei den Benzinkraftstoffen größer ist als bei dem Gemischkraftstoff. Die Zunahme der Oktanwerte bei den Benzinkraftstoffen ist ungefähr doppelt so groß wie bei dem Gemischkraftstoff. Die größte Steigerung der Kompressionsbeständigkeit tritt von 800 auf 900 Umdr/min ein. Und zwar beträgt hierbei der Anstieg der Oktanzahl bei den Benzinkraftstoffen

A. 12 Oktaneinheiten
B. 8 „
C. 11 „

und dem Gemischkraftstoff D. 5 „

Der Abfall der Oktanzahl von 800 auf 700 Umdr/min beträgt bei den Benzinkraftstoffen

---

* Kompr. = Kompression.
B. W. = Benzolwert.
O. Z. = Oktanzahl.

A. 7 Oktaneinheiten
B. 8 „
C. 4 „
und dem Gemischkraftstoff D. 4 „

Ein Nichteinhalten der Prüftourenzahl 800/min beeinflußt also das Klopfen eines Kraftstoffes erheblich.

Es muß in diesem Zusammenhange erwähnt werden, daß das Abhören des Klopfens bei 900 bezw. 1000 Umdr/min mit einigen Schwierigkeiten verbunden war. Allein schon die stärker auftretenden Nebengeräusche der Maschine trugen dazu bei. Diese Feststellung läßt vermuten, daß die scheinbare Steigerung der Kompressionsfestigkeit durch Umdrehungszahländerung teilweise durch die Unmöglichkeit der Erfassung des richtigen Klopfmomentes hervorgerufen wird. Der Gang der Versuchsmaschine ist bei 800 Umdr/min vollständig einwandfrei. Die Betriebssicherheit der Maschine läßt bei 700 Umdr/min nach. Die Wahl der Tourenzahl 800/min bei vergleichenden motorischen Klopfwertmessungen ist also bei dieser Versuchsmaschine die beste Gewähr dafür, daß das richtige Klopfmoment eines Kraftstoffes erfaßt wird. Es muß also für jeden Versuchsmotor zuerst die richtige Umdrehungszahl bei einwandfreiem Betriebszustand des betreffenden Motors bestimmt werden.

b) Zündverstellung.

Die Durchführung der folgenden Versuchsreihen konnte nur bei Vernachlässigung der sonst geforderten wirtschaftlichsten Leistung des Versuchsmotors ausgeführt werden. Die Feststellung der besten wirtschaftlichen Leistung bei der gewählten Versuchsmotorentourenzahl von 800/min ergab die Notwendigkeit einer Zündung von 13° v. ob. Totpunkt.

Es wurden folgende Werte ermittelt:

Tabelle 2.

Zdg.	A			B			C			D		
	Kompr	B.W.	O.Z.	Kompr	B.W.	O.Z.	Kompr	B.W.	O.Z	Kompr	B.W.	O.Z.
5°	1:7,25	73/74	93/94	1:7,25	73/74	93/94	1:6,25	60	83	1 8,17	80/81	99
10°	1:6,10	58	82	1:5 85	54	79	1:5,38	40	69	1:7,22	73/74	93/94
13°	1:5,37	39/40	68/69	1:5,35	40	69	1:5,03	21	56/57	1:6,42	63/64	85/86
15°	1:5,30	36	66	1:5,25	34	64/65	1:4,90	13	51/52	1:6,22	60	83
20°	1 5,10	26	59/60	1 5.08	25	59	1:4,73	0	45	1:5 84	54	79
Gesamtänderung der Oktanzahl:		35			35			38				20

Bei allen vier untersuchten Kraftstoffen fällt mit steigender Vorzündung die Kompressionsfestigkeit. Die Feststellung des Klopfmomentes bei einer Zündung im oberen Totpunkt konnte bei dieser Versuchsmaschine nicht durchgeführt werden. Der Gang des Motors war hierbei zu unruhig und der Leistungsabfall zu groß. Die Untersuchungen mußten daher auf einen Bereich von 5—20° Zündung v. ob. Totpunkt beschränkt bleiben. Der gewählte Zündverstellungsbereich genügt vollständig, um die Beeinflussung der Klopfneigung festzustellen.

Die Gesamtänderung der Werte der drei Benzinkraftstoffe A, B, C und des Gemischkraftstoffes D zeigt deutlich die Tendenz, daß die Kraftstoffe, die von Haus aus einen niedrigen Oktanwert besitzen, die größte Aenderung des Oktanwertes erfahren.

Kraftstoff	C.	A.	B.	D.	
Oktanzahl bei normaler Einstellung:	56/57	68/69	69	85/86	
Gesamtänderung der O. Z.	38	35	35	20	Oktaneinheiten

Betrachtet man fernerhin die erhaltenen Oktanzahlen in dem Zündverstellungsbereich 10 bis 15° von der Grundbasis 13° Zündung v. ob. Totpunkt, — hier gibt der Versuchsmotor die beste Leistung — so ist folgendes festzustellen:

Kraftstoff	C.	A.	B.	D.	
Anstieg der Oktanzahl von 13° auf 10° Zdg. v. ob. Totpunkt	13	14	10	8	Oktaneinheiten
Abfall der Oktanzahl von 13° Zdg. auf 15° v. ob. Totpunkt	5	3	5	3	„

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung, wie stark die Klopftendenz bei Abweichungen von der Zündung, die durch die beste, wirtschaftlichste Einstellung des Motors gegeben ist, beeinflußt werden kann.

Die angeführten Versuchsergebnisse geben ein deutliches Bild davon wieder, daß bei Klopfmessungen die Einhaltung der Zündung, die die wirtschaftlichste Einstellung des Motors fordert, unbedingt eingehalten werden muß, um eine einwandfreie Beurteilung der Kraftstoffe hinsichtlich ihrer Klopffestigkeit vornehmen zu können.

c) Vergasereinstellung.

Die absichtlich falsche Wahl der Vergasereinstellung (Abweichen von der wirtschaftlichsten Vergasereinstellung) zeigt in der Tat auch Einflüsse auf die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes. Die Untersuchung des Markenbenzin-Kraftstoffes A ergab folgende Resultate:

Vergaser-einstellung	Kompression	B. W.	O. Z.	Diff.
zu mager	1 : 5,28	35	65	
				3
normal	1 : 5,36	39	68	
				3
zu fett	1 : 5,46	43	71	

Es findet also bei magerem Gemisch eine Erniedrigung der Klopffestigkeit und bei zu fettem Gemisch eine Erhöhung der Klopffestigkeit statt.

Das Abweichen der Werte von einander ist nicht bedeutend, jedoch ist es zu erfassen.

Es wurde schon an früherer Stelle erwähnt, daß der qualitative Einfluß der untersuchten mechanischen Prüfkomponenten auf die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes bekannt war. Denn Tourenzahl, Zündung und Vergasereinstellung bestimmen in erster Linie die Leistung und den Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors.

Mit den hier durchgeführten Messungen wurden die quantitativen Auswirkungen dieser Einflüsse auf die Klopffestigkeit — die Oktanzahl — eines Kraftstoffes festgelegt.

Aus den Messungen des Einflusses der Zündverstellung auf die Kompressionsbeständigkeit eines Kraftstoffes geht deutlich hervor, daß Uebertreibungen hinsichtlich der Wahl der Vorzündung im praktischen Fahrdienst zu Kraftstoffschwierigkeiten führen können. Auch die wirtschaftlichste Kraftstoffeinregulierung bietet nicht nur eine Ersparnis in geldlicher Hinsicht, sondern auch eine Gewähr der Innehaltung der garantierten Klopffestigkeit eines Kraftstoffes.

F. Prüfungen der versch. physikal. Einflüsse auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen.

Es wurden folgende physikalische Einflüsse auf die Kompressionsbeständigkeit der Leichtkraftstoffe A, B, C und des Gemischkraftstoffes D untersucht:

Einfluß a) der Luftansaugtemperatur;
b) der Kühlwassertemperatur;
c) der relativen Luftfeuchtigkeit.

Die Messungen bei den betreffenden Temperaturen oder Luftfeuchtigkeitsprozenten wurden selbstverständlich erst dann ausgeführt, wenn die Versuchsmaschine längere Zeit auf den betreffenden Prüfdaten sich konstant hielt.

a) Luftansaugtemperatur.

Die Untersuchung der drei Benzinkraftstoffe A, B, C und des Gemischkraftstoffes D ergab folgende Ergebnisse:

Tabelle 3.

Kühlwa. Temp. °C	A			B			C			D		
	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.
20	1 5,46	43	70/71	:5,47	43/44	71	1 5.25	34	64/65	1:6,90	70	89/90
30	1:5,41	41	69/70	1:5,42	42	70	1:5,17	30	62	1:6,60	66	87/88
35	1:5,38	40	69	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	1:5,35	39	68	1:5,37	40	69	1:5,05	23	57/58	1:6,35	62	84/85
45	1:5,28	36	66	—	—	—	—	—	—	1:6,20	60	83
50	1:5,25	34	64/65	1:5,32	37/38	67	1:4,95	16	53/54	1 6,03	57	81
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 5,95	55/56	79/80
60	1:5,18	30	62	1 5.25	34	64/65	1:4,90	13	51/52	—	—	—
Gesamtänderung der Oktanzahl:			9			7			13			10

Aus diesen Daten ersieht man deutlich, daß die Klopfneigung der untersuchten Kraftstoffe mit zunehmender Ansaugluftemperatur sinkt. Eigentümlich war bei diesen Versuchen der immer wieder zu beobachtende starke Abfall der Kompressionsbeständigkeit zwischen 40 und 50° C. der Ansaugluft; und zwar beträgt der Abfall der Oktanzahl bei:

Kraftstoff	A.	D.
von 40° auf 45° der Ansaugluft	2	$1^1/_2$ Oktaneinheiten
von 45° auf 50° der Ansaugluft	$1^1/_2$	2 „
Gesamtänderung von 20—60° C.	9	10 „

Wertet man diese Beobachtung aus, so ergibt sich für die Markenkraftstoffe folgendes Bild:

Ansaugluft °C.	40	45	50	
Markenbenzin	68	66	64/65	Oktanzahl
Markengemisch-kraftstoff	84/85	83	81	„

Die Feststellungen des Einflusses der Temperatur der Ansaugluft auf die Klopftendenz sind deshalb interessant, weil sich damit Aufschlüsse über die Bemessung der Vorwärmung von Leichtkraftstoffen ergeben. Es ergibt sich die Tatsache, daß eine übermäßige Bemessung der Vorwärmung sich unvorteilhaft in der kompressionserniedrigenden Beeinflussung des Kraftstoffes auswirkt. Es ist daher ratsam, die Luftvorwärmung, die die Vergasung unterstützen soll, nur so weit zu treiben, daß durch die Beeinflussung der Klopffestigkeit des Kraftstoffes diese Förderung nicht illusorisch gemacht wird. In diesem Zusammenhange ist der Vorzug und die Berechtigung einer veränderlichen Luftvorwärmung, die häufig bei Kraftwagen vorgesehen ist, zu erwähnen. Die gewonnenen Ergebnisse bestätigen die auch in dieser Hinsicht erhaltenen Resultate der Amerikaner, daß mit erhöhter Lufttemperatur die Oktanzahl fällt[17]). Es wurde dieser Abfall der Oktanzahl allerdings nur bei 40 auf 60° C. untersucht.

b) Kühlwassertemperatur.

Auch bei der Aenderung der Kühlwassertemperatur zeigt sich der Einfluß auf die Kompressionsfestigkeit der untersuchten Benzinkraftstoffe A, B und C und den Gemischkraftstoff D einwandfrei.

Tabelle 4.

Ansaug-temp. °C	A			B			C			D		
	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.
40	1:5,48	44	71/72	1:5,43	42	70	1:5,20	31	62/63	1:6,82	69	89/90
50	1:5,45	43	71	1:5,40	41	69/70	1:5,15	29	61/62	1:6,77	68	89
55	1:5,40	41	69/70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	1:5,36	39	68	1:5,35	39	68	1:5,08	25	59	1:6,59	66	87/88
70	1:5,35	39	68	1:5,33	38	67/68	1:5,05	23	57/58	1:6,42	63	85/86
80	1:5,28	36	66	1:5,27	35	65	1:4,98	18	54/55	1:6,34	62	84/85
90	1:5,26	34/35	65	1:5,22	32/33	64	1:4,95	16	53/54	1:6,28	61	84
Gesamtänderung der Oktanzahl:			6/7			6			9			5/6

Beträgt auch die Gesamtänderung der Kompressionsfestigkeit bei einer Variation der Kühlwassertemperatur von ca. 50° C. nur wenige Oktaneinheiten, so zeigen die gefundenen Daten doch deutlich, daß mit zunehmender Temperatur des Kühlwassers die Kompressionsfestigkeit der Kraftstoffe sinkt. Greift man das Beispiel des Markenbenzins A heraus, so ergibt sich bei einer Kühlwassertemperatur

von 70° C. eine Oktanzahl von 68

von 80° C. eine Oktanzahl von 66

Es ist also durchaus nicht gleichgültig, bei welcher Kühlwassertemperatur die Klopfmessungen vorgenommen werden. Ein weiteres Sinken der Kompressionsfestigkeit ist bei einer Kühlwassertemperatur von 90° C. zu beobachten.

Es erwies sich jedoch bei dieser Versuchsmaschine als sehr schwierig, das Kühlwasser einwandfrei auf 90° C. zu halten. Wie wichtig das Innehalten einer konstanten Kühlwassertemperatur bei exakten Kraftstoffkompressionsmessungen ist, zeigt Tafel 4 deutlich. Es war deshalb bei den anderen Feststellungen das Einhalten der gewählten Kühlwassertemperatur außerordentlich wichtig, damit keinerlei Verwischungen von seiten anderer Faktoren eintraten.

Aus den gefundenen Ergebnissen lassen sich weiterhin Rückschlüsse betreffs der Gestaltung des Kühlers und der Kühlwassermenge bei Kraftfahrzeugen ziehen.

Die übliche Regel besagt, daß man einen Motor möglichst warm fahren soll. Die oben durchgeführten Untersuchungen zeigen jedoch deutlich, daß bei warmem Motor die Kompressionsfestigkeit der Kraftstoffe sinkt. Man muß also darauf bedacht sein, die Temperaturregelung so zu betreiben, daß die Temperatur des Kühlwassers nicht so hoch steigt, daß dadurch ein Sinken des Oktanwertes bis zum Klopfbeginn eintreten kann. Es ist eine bekannte Tatsache, daß Motore, deren konstruktives Kompressionsverhältnis es ohne weiteres erlauben würde, Benzinkraftstoffe zu fahren, in der Praxis vorteilhafter mit Benzin-Benzolgemischen betrieben werden.

Veranlassung zu dieser Maßnahme geben insbesondere solche Motorentypen, die zum Warmlaufen neigen, und eine gute Vorwärmung haben.

Die Wahl von klopffesteren Kraftstoffen bei derartigen Motoren findet seine Erklärung in der Tatsache, daß eine

Steigerung der Temperaturverhältnisse des Motors das Auftreten der Klopferscheinungen begünstigt.

Ueber ähnliche wie die hier diskutierten Resultate wurde in einem Aufsatz von Graham Edgar: „Jacket and Zylinder-Head Temperature Effects upon Relative Knock-Ratings", berichtet[18]).

Die amerikanischen Versuchsergebnisse, die zum Vergleich der hier gefundenen Werte herangezogen werden können, besagen gleichfalls, daß mit steigender Kühlwassertemperatur die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes fällt.

c) Luftfeuchtigkeit.

Bevor ich den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes diskutiere, ist es notwendig, auf die Luftfeuchtigkeit im allgemeinen einzugehen.

Die Funktionen, die die Luftfeuchtigkeit bestimmen, sind:

der Luftdruck und
die Lufttemperatur.

Nach eingehendem Studium der in betracht kommenden Literatur fanden sich keinerlei Anhaltspunkte dafür, wie sich Luftdruck, Lufttemperatur und damit die Luftfeuchtigkeit auf den Kraftstoff und damit auf den Verbrennungsprozeß des Kraftstoffluftgemisches im Verbrennungsmotor auswirken.

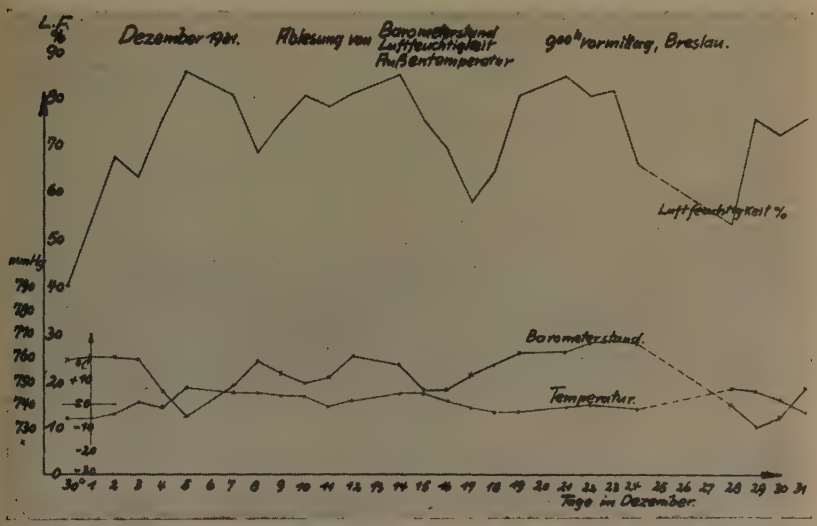
Um ein anschauliches Bild von den Luftfeuchtigkeitsverhältnissen in Deutschland wiederzugeben, sei die Luftfeuchtigkeit im Jahresdurchschnitt von folgenden Orten angegeben:

Berlin 76 % (Norddeutsche Tiefebene);
Hamburg 81 % (Meeresnähe);
Breslau 75 % (Nordostdeutsches Flachland);
Leipzig 80 % (Mitteldeutsches Bergland);
München 75 % (Oberbayrische Hochebene);
Königsberg 81 % (Meeresnähe)[15]).

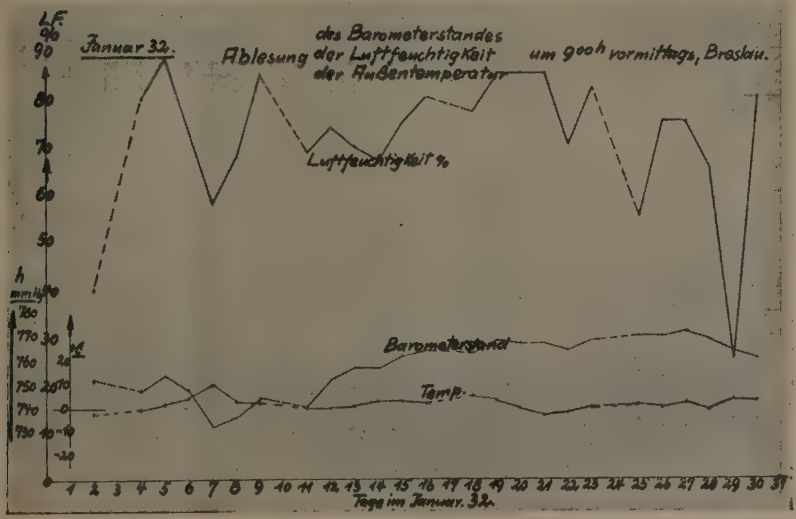
Die Unterschiede der einzelnen charakteristischen Gegenden sind also nicht so erheblich, wie man im ersten Augenblick annehmen könnte. Wie stark jedoch das Jahresmittel der Luftfeuchtigkeit von der tatsächlichen täglichen Luftfeuchtigkeit abweicht, sei in folgendem berichtet. Die Luftfeuchtigkeit, sowie der Luftdruck und die Außentem-

peratur wurden in den verschiedenen Monaten in dem Hochschullaboratorium täglich registriert.

Aus den Abbildungen 9 bis 12 ersieht man, wie groß die täglichen Schwankungen sind.



oben: Bild 9, unten: Bild 10.



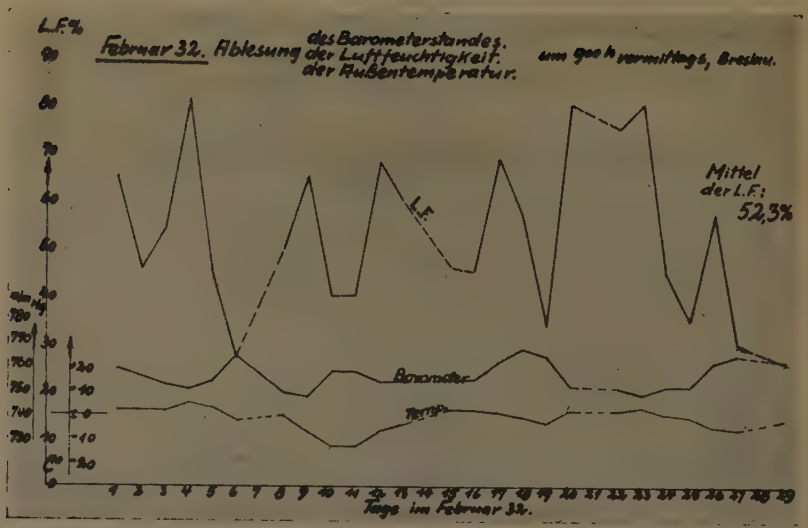


Bild 11.

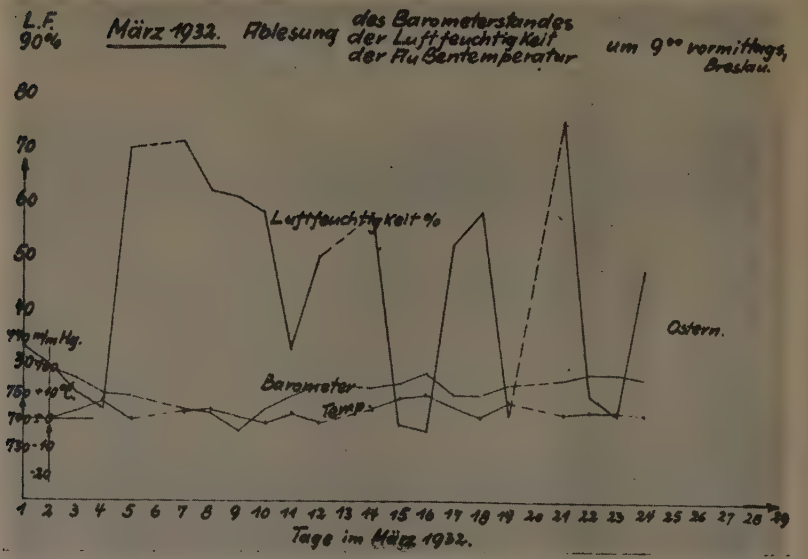


Bild 12

Diese Messungen veranschaulichen deutlich, daß es nicht angeht, wissenschaftliche Arbeiten, bei denen Witterungseinflüsse vermutet werden können, auf Grund einer im Jahresdurchschnitt ermittelten Luftfeuchtigkeit vorzunehmen.

Eine Ergänzung dieser Beobachtungen zeigt Abbildung 13. Die Registrierungen der Luftfeuchtigkeit wurden früh, mittags und abends in einer süddeutschen Landeswetterwarte vorgenommen.

Aus diesen Aufzeichnungen geht deutlich hervor, wie stark selbst die Schwankungen der Luftfeuchtigkeit an einem Tage sich auswirken können.

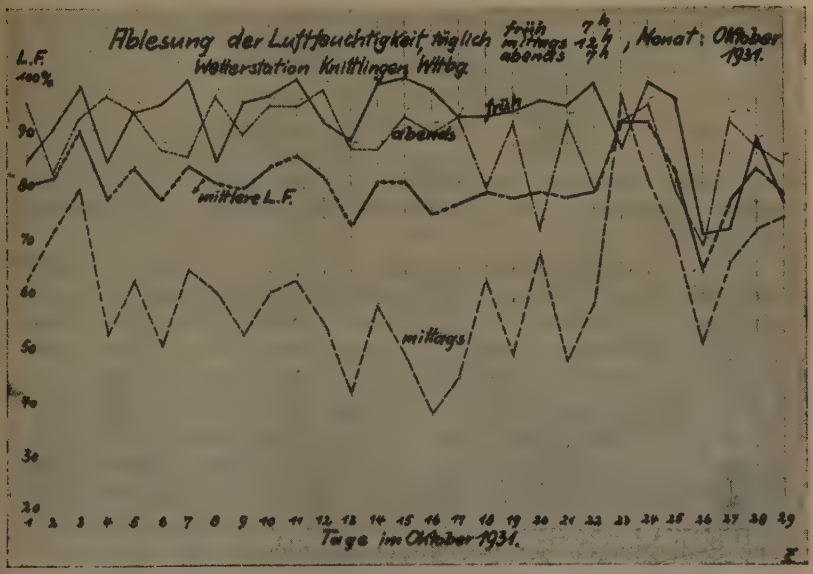


Bild 13.

Es ist also unbedingt notwendig, die Luftfeuchtigkeit dauernd zu beobachten.

„Die größte Luftfeuchtigkeit herrscht in den Gebieten des indischen Ozeans. Die höchste mittlere relative Feuchtigkeit als Jahresdurchschnitt ist mit 90 % in Südamerika, Para, verzeichnet worden, während Berber am Nil mit 29 % Luftfeuchtigkeit ein Minimum besitzt[16])".

Die oben angeführten Tatsachen sind Einflüsse, die auf der Erdoberfläche sich bemerkbar machen. Aus den Abbildungen 9—12 geht hervor, daß bei dieser Voraussetzung der Luftdruck zwischen 730 bis 780 mm Hg schwankt.

Es muß hier erwähnt werden, daß bei den nachfolgenden Versuchen nur der direkte Einfluß der Aenderung der Luftfeuchtigkeit festgestellt werden konnte.

Zieht man nun in Betracht, daß mit größer werdender Entfernung von der Erdoberfläche der Luftdruck bedeutend fällt, so müßte es sehr interessant und aufschlußreich sein, die in diesen Zonen auftretenden Beeinflussungen auf den Kraftstoff zu studieren. Zur Orientierung sei erwähnt, in welchem Maße der Luftdruck durch Höhenänderung beeinflußt wird.

In 1000 m Höhe ca. 671 mm Hg.
3000 m „ „ 522 „ „
5000 m „ „ 407 „ „
8000 m „ „ 280 „ „

Laut Berichten von Piccard betrug der Luftdruck bei seinem Aufstieg in die Stratosphäre in 16 000 m Höhe nur noch 75 mm Hg.

Es wurde eingangs schon erwähnt, wie wenig man sich mit den Einflüssen des Luftdrucks befaßt hat. Nur das Bureau of Standards, Washington, ist diesem Problem näher getreten und hat einschlägige Versuche in dem eigens dazu gebauten „Altitude chamber" unternommen. Da über die Luftzustände in der Atmosphäre nur wenige, und unter anderem Gesichtswinkel gesammelte wissenschaftliche Messungen der Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Zusammensetzung der Luft etc. vorliegen, ist es zweifelhaft, ob bei den angestellten Versuchen die gewählte Vorrichtung tatsächlich alle Bedingungen berücksichtigen konnte.

In wie weit nun die Luftfeuchtigkeit an der Aenderung der Klopffestigkeit eines Kraftstoffes beteiligt ist, darüber sei im folgenden berichtet.

Diese physikalische Prüfkomponente kann in der Praxis nicht beeinflußt werden. Eine Aenderung der Luftfeuchtigkeit kann, im Gegensatz zu den bisher angeführten Prüfkomponenten, nur im Laboratorium vorgenommen werden. Das Studium des Einflusses der Luftfeuchtigkeit auf die Kompressionsfestigkeit von Kraftstoffen ist deshalb von besonderer Bedeutung.

Die Anordnung der Versuchsapparatur für die Messungen der Einflüsse der Luftfeuchtigkeit ist schon an früherer Stelle beschrieben. Es wurden wiederum die vier Kraftstoffe A, B, C und D in den Untersuchungsbereich gezogen. Die Ueberprüfungen lieferten folgende Ergebnisse:

Tabelle 5.

% Luftfeuchtg	A			B			C			D		
	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O.Z.	Kompr	B.W.	O. Z.	Kompr	B.W.	O. Z.
32	1 5,33	38	67/68	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	—	—	—	1:5,32	37/38	67	—		—	—	—	—
35	1.5,33	38	67/68	—	—	—		—	—	1.6,27	61	84
40	1:5,33	38	67/68	1:5,32	37/38	67	1:5,02	21	56/57	1:6 27	61	84
45	1:5,33	38	67/68	1:5,37	39/40	68	—		–	1:6,30	61/62	84/85
48	—	-	—	1:5,38	40	69	—	–	—	—	—	—
50	1:5,35	39	68	—	—	—	1:5,03	21/22	56/57	1.6,35	62	84 85
52	—	—	--	1:5,45	43	70/71	—	—	—	—	—	—
55	1:5,35	39	68	1 5,48	43/44	71	—	—		1 6,42	63	85/86
60	1:5,38	40	69	1:5,52	45	72	1:5,10	26	59/60	1 6,45	64	86
65	1:5,43	42	70	1:5,58	47/48	74	1:5,18	30	62	1.6,52	65	87
68	—	—	—	1:5,63	48/49	74/75	—	—	—	–	—	—
70	1:5,48	44	71/72	—	—	–	1:5,23	33	64	1 6.58	65/66	87/88
75	1:5,60	48	74/75	1:5,68	50	76	—	—	—	—	—	—
80	1:5,65	50	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
81	—	—	-	1:5,72	51	76/77	—	—	-	—	—	—
82	1:5,72	51	76/77	—	—	—	—	—	—	—	—	—
85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1:6 80	68/69	89/90

Aus der ersten allgemeinen Uebersicht ersieht man, daß bei allen Kraftstoffen mit zunehmender Luftfeuchtigkeit die Kompressionsfestigkeit steigt.. Die kurvenmäßige Darstellung (Tafel 5) der Prüfdaten bringt fernerhin deutlich zum Ausdruck, daß bei allen hier untersuchten Kraftstoffen zuerst kein nennenswerter Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf das Klopfbestreben festzustellen ist. Diese Feststellung gilt für den Untersuchungsbereich einer Luftfeuchtigkeit von ca. 30 bis 45 Prozent. Eine weitere Steigerung der Luftfeuchtigkeit, ungefähr von 50 Prozent an, bewirkt eine wesentliche Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit der untersuchten Kraftstoffe.

Die folgende Zusammenstellung zeigt deutlich, daß die größten Aenderungen der Kompressionsfestigkeit bei jenen Kraftstoffen eintreten, die von Haus aus einen niedrigen Oktanwert besitzen. Je größer die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes von Haus aus ist, desto geringer wird ein Kraftstoff durch erhöhte Luftfeuchtigkeit beeinflußt.

Als Ausgangsbasis ist die Oktanzahl der Kraftstoffe bei einer Luftfeuchtigkeit von 40 % angenommen. Zur Beurteilung der Gesamtänderung der Oktanwerte ist der Bereich der Luftfeuchtigkeitsänderung von 40—70 % gewählt.

Kraftstoff	Oktanzahl bei 40 % Luftfeuchtigkeit	Gesamtänderung der Oktanzahl von 40—70 %
C	56/57	8 Oktaneinheiten
B	67	8 „
A	67/68	5 „
D	84	4 „

Betrachtet man nun nochmals die Kurven, die die täglichen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit etc. wiedergeben, so zeigt sich, daß sich die Schwankungen der Luftfeuchtigkeit von 50 bis 90 % ziemlich oft wiederholen. Nimmt man fernerhin die Tatsache hinzu, daß die heute üblichen Handelsbenzinkraftstoffe im allgemeinen eine Oktanzahl von 66 bis 69 bei einer Luftfeuchtigkeit von ca. 40 % besitzen, so ersieht man daraus, wie stark sich der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Kompressionsfestigkeit bemerkbar machen kann. Es kann z. B. ein Markenbenzin, das in Breslau bei einer Luftfeuchtigkeit von 40 % eine Oktanzahl von 62 hat, an einem anderen Ort bei einer Luftfeuchtigkeit von 85 % geprüft, die Oktanzahl 72 besitzen.

Eine weitere Bestätigung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit ersieht man aus den Versuchsreihen, die in den Tabellen 6—9 angeführt sind. Die Veränderung der Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes durch die Luftfeuchtigkeit muß sich auch bei den in Tafel 1—4 besprochenen Prüfkomponenten wie

Tourenzahl,
Zündverstellung,
Ansaugtemperatur und
Kühlwassertemperatur,

die bei einer konstanten Luftfeuchtigkeit ausgeführt wurden, in einer Verschiebung der gefundenen Kurve auswirken. Es wurde deshalb der Kraftstoff A nochmals in bezug auf die oben angeführten Prüfkomponenten untersucht und zwar bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten. Die Versuchsergebnisse waren folgende:

Tabelle 6.

Tourenzahländerung. Kraftstoff A.

Tourenzahl	Luftfeuchtigkeit 42 %			55 %			75 %		
	Kompr.	B. W.	O. Z	Kompr.	B. W.	O. Z.	Kompr.	B. W.	O Z.
700	1:5,02	20	56	1:5,21	31	62/63	1:5,28	36	66
800	1:5,35	38/39	68	1:5,41	41	69/70	1:5,60	48	74/75
900	1:5,75	51/52	77	1:6,05	57/58	81	1:6,23	60	83
1000	1:6,62	66	87	1:6,66	66/67	88	1:6,87	69/70	90
Gesamtänderung der Oktanzahl:			31			26			24

Tabelle 7.

Zündverstellung. Kraftstoff A.

Zündung	Luftfeuchtigkeit 42 %			55 %			60 %			77 %		
	Kompr	R. W.	O. Z.	Kompr	B. W.	O. Z.	Kompr	B. W.	O. Z.	Kompr	B. W.	O. Z.
5°	1:6,92	70/71	90	1:7,25	73/74	93/94	1:7,40	75	94	1:7,45	75/76	94/94
10°	1:6 05	57/58	81/82	1:6,10	58	82	1:6,23	60	83	1:6,40	53	85/86
13°	1:5,35	39	68	1:5,37	39/40	68/69	1:5,45	43	71	1:5,63	49	75
15°	1:5,20	31	62 63	1:5 30	36	66	1:5,37	40	69	1:5,52	45	72
20°	15:,05	23	57/58	1:5,10	26	59/60	1:5,15	29	61/62	1:5 28	36	66
Gesamtänderung der Oktanzahl:			33			34			33			29

Tabelle 8. Luftansaugtemperatur. Kraftstoff A.

°C. Lufttemperat.	Luftfeuchtigkeit 50 % Kompr.	B.W.	O. Z.	60 % Kompr.	B.W.	O. Z.	65 % Kompr.	B.W.	O Z.	70 % Kompr.	B.W.	O Z.	77 % Kompr.	B.W.	O. Z.
20°	1:5,46	43	70/71	1:5,50	45	72	1:5,54	46	73	1:5,58	47/48	74	1:5,65	49	75
30°	1:5,41	41	69/70	1:5,43	42	70	1:5,47	43/44	71	1:5,54	46	73	1:5,60	48	74/75
40°	1:5,35	39	68	1:5,38	40	69	1:5.42	42	70	1:5,48	44	71/72	1:5,56	46/47	73/74
45°	1:5,28	36	66	1:5,31	37	67	1:5,37	39/40	68/69	1:5,42	42	70	1:5,52	45/46	72/73
50°	1:5,25	34	64/65	1:5,25	34	64/65	1:5,33	38	67/68	1:5,33	38	67/68	1:5,48	43/44	71
55°	—	—	—	1:5,23	33	64	1:5,28	35/36	65/66	—	—	—	1:5,45	43	70/71
60°	1:5,18	30	62	1:5,20	31/32	63	1:5,25	34	64/65	1:5,30	36/37	66/67	1:5,43	42	70
Gesamtänderung der Oktanzahl:			9			9			9			8			5

Tabelle 9. Kühlwassertemperatur. Kraftstoff A.

Kühlwassert mp C	Luftfeuchtigkeit 50 % Kompr.	B.W.	O Z.	60 % Kompr.	B.W.	O Z.	65 % Kompr.	B W.	O. Z.	70 % Kompr.	B.W.	O. Z.	77 % Kompr.	B.W.	O. Z.
40°	1:5,47	43/44	71	1:5,48	43/44	71	1:5,50	44/45	72	1:5,52	45\46	72/73	1:5,75	51/52	77
45°	—	—	—	1:5,47	43/44	71	—	—	—	—	—	—	1:5.70	50/51	76
50°	1:5,45	43	70/71	1:5,45	43	70/71	1.5,47	43/44	71	1:5,50	44/45	72	1:5,65	49	75
55°	1:5,42	41/42	70	1:5,42	41/42	70	—	—	—	1:5,48	44	71/72	1:5,63	48/49	75
60°	1:5,38	40	69	1:5,40	41	69/70	1:5,43	42	70	1:5,48	44	71/72	1:5,60	48	74/75
70°	1:5,33	38	67/68	1:5,38	40	69	1:5,42	41/42	70	1:5.47	43/44	71	1:5,56	46/47	73/74
80°	1:5,25	34	64/65	1:5,30	36	66	1:5,33	38	67/68	1:5,35	39	68	1:5,47	43/44	71
90°	—	—	—	1:5,27	35	65	1:5.27	36	66	—	—	—	1:5,35	39	68
Gesamtänderung			7			6			6			5			9

Die in den Tabellen 6—9 angeführten Ergebnisse entsprechen den Untersuchungsbefunden, die bei der Variation der Luftfeuchtigkeit, die in Tabelle 5 angeführt ist, gefunden wurden.

Fernerhin ist noch auf die Tatsache aufmerksam zu machen, daß bei hohem Luftfeuchtigkeitsgehalte die Gesamtänderung der Kompressionsfestigkeit bei den 4 überprüften Komponenten, gegenüber einer niedrigen Luftfeuchtigkeit, abnimmt.

Die praktische Auswertung der erhaltenen Resultate führt zu folgender Ueberlegung. Eine Steigerung der Luftfeuchtigkeit wirkt sich in unseren Breitengraden für den Motor nur günstig aus. Die bei 82 % Luftfeuchtigkeit erhaltene Oktanzahl 76/77 eines Markenbenzins entspricht beinahe den Anforderungen eines Benzin-Benzolgemisches bei 40 % Luftfeuchtigkeit.

Besonders wichtig sind die erhaltenen Ergebnisse für die Tropen und die nordischen Länder. Insbesondere seien die klimatischen Verhältnisse für Amerika erwähnt. Die Prüfungen von Kraftstoffen finden in USA allgemein in den Breitengraden von New York, Chicago statt. Jedoch müssen dieselben Kraftstoffe auch allen Anforderungen der tropischen und nordischen Zonen Genüge leisten.

Die hier ausgewerteten und beschriebenen Einflüsse der Luftfeuchtigkeit bestätigen also die von Brooks, White und Rodgers auf einer Tagung der Society of Automotive Engineers im Juli 1931 ausgesprochenen „merkwürdigen" Einflüsse der Luftfeuchtigkeit auf die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes. Ebenfalls kann noch erwähnt werden, daß die Untersuchungen der Amerikaner sich bis jetzt nur auf zwei Untersuchungsstufen beschränkten[17]).

G. Auswertung und Zusammenfassung.

Betrachtet man abschließend die verschiedenen Einflüsse der mechanischen und physikalischen Prüfkomponenten, so ist unter Einschränkung der erhaltenen Ergebnisse bei der Tourenzahländerung, deren Resultate der allgemeinen Regel anscheinend zuwiderlaufen, folgendes zu beachten.

Sinkt die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes, so ist zumeist eine Erhöhung des Wärmezustandes im Verbrennungsraum des Motors eingetreten.

Steigt die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes, so ist diese Tatsache auf irgend eine Kühlwirkung im Verbrennungsraum zurückzuführen.

Eine Steigerung des Wärmezustandes tritt durch zu große Vorzündung, zu hohe Luftvorwärmung, zu hohe Kühlwassertemperatur und bei zu geringem Luftfeuchtigkeitsgehalt ein.

Umgekehrt bewirkt geringe Vorzündung, geringe Luftvorwärmung, intensive Kühltemperatur und ein hoher Luftfeuchtigkeitsgehalt eine Verringerung des Wärmezustandes.

Es ist hierbei gleichgültig, ob die Kühlung auf mechanischem oder physikalischem Wege eingeleitet wird. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß durch die physikalischen Einflußkomponenten eine stärkere Aenderung des Wärmezustandes und damit eine größere Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit hervorgerufen wird.

Damit wird die Frage aufgeworfen, welche Prüfkomponente den größten Einfluß auf die Aenderung der Kompressionsfestigkeit ausübt. Den Versuchsergebnissen ist zu entnehmen, daß die größte Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit durch die Aenderung der Zündung hervorgerufen wird.

Es muß in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß das Klopfen, das bei Veränderung der Zündung eintritt, eine reine Funktion des Kraftstoffes ist. Diese Feststellung kann durch folgenden Versuch leicht nachgewiesen werden.

Man betreibt den Prüfmotor unter den üblichen Prüfbedingungen mit einem Kraftstoff, ohne daß derselbe klopft. Durch Vorverstellung der Zündung bringt man den gleichen Kraftstoff zum Klopfen. Es werden nun keinerlei Veränderungen an den Maschinendaten der Versuchsmaschine vorgenommen. Das Klopfen des Kraftstoffes hält also an. Dem Kraftstoff setzt man nun ein Antiklopfmittel zu. Kommt der Antiklopfmittelzusatz, zum Beispiel Benzol, zur Wirkung, so hört das Klopfen auf. Damit ist der Beweis geliefert, daß das durch Zündverstellung auftretende Klopfen durch den Kraftstoff hervorgerufen wird.

Die Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes durch die Zündung spielt jedoch praktisch keine Rolle, da durch die wirtschaftliche Leistungseinstellung des Motors die für den Kraftstoff und den Motor günstigste Zündeinstellung gewählt wird.

Somit kommt der Luftfeuchtigkeit die größte Bedeutung hinsichtlich der Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes zu.

Die Tatsache, daß ein großer Luftfeuchtigkeitsgehalt eine Erhöhung der Kompressionsfestigkeit bewirkt, kann man vielleicht damit erklären, daß durch den größeren Wasserdampfgehalt der Luft im Verbrennungsraum bei dem Verbrennungsprozeß des Kraftstoffluftgemisches Wärme entzogen wird. Es findet also eine Abkühlung des Verbrennungsraumes statt. Diese Erklärung befriedigt nicht ganz, jedoch fehlen genaue Messungen. Die beobachteten Auswirkungen sind also thermischer Natur. Diese Ergebnisse werden praktisch durch die bekannte Tatsache ergänzt, daß ein Motor an Sommerabenden im Walde, also bei feuchten Luftverhältnissen, besser durchzieht.

Die Abkühlung des Verbrennungsraumes durch den größeren Wasserdampfgehalt und die damit erfolgte Steigerung der Kompressionsfestigkeit der Kraftstoffe steht in Einklang mit den Erkenntnissen, die sich bei der Ueberprüfung des Kühlwassers und der Luftansaugtemperatur auf die Kompressionsfestigkeit von Kraftstoffen ergaben.

Den nächst größten Einfluß auf die Aenderung der Kompressionsfestigkeit übt die Luftansaugtemperatur aus. Je mehr Wärmeeinheiten dem Kraftstoff-Luftgemisch zugeführt werden, desto größer ist der Abfall der Kompressionsfestigkeit. Aehnlich liegen die Verhältnisse bei dem Einfluß des Kühlwassers auf die Kompressionsbeständigkeit eines Kraftstoffes. Allerdings übt das Kühlwasser den im Verhältnis zu den bisher besprochenen Prüfkomponenten relativ geringsten Einfluß auf die Kompressionsfestigkeit aus.

Die beiden zuletzt angeführten Prüfkomponenten erbringen die Bestätigung dafür, daß das Kraftstoffklopfen eine thermische Reaktion ist.

Die Besprechung der verschiedenen Einflußkomponenten auf die Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes zeigt deutlich, daß die wirksamste konstruktive Begegnung der unerwünschten thermischen Auswirkungen, die das Klopfen begünstigen, in der Forderung der bestmöglichsten Wärmeabteilung liegt.

In welchem Maße man das Kraftstoffklopfen durch die verschiedensten konstruktiven Durchbildungsmöglichkeiten des Verbrennungsraumes begünstigt oder ihm begegnet, wurde schon an früherer Stelle besprochen. Die Durchführung

der Versuche ergänzt diese Beobachtungen in der Weise, daß die Möglichkeit der guten Kühlung des Zylinderkopfes, also des Verbrennungsraumes, neben der Gestaltung des Verbrennungsraumes die wirksamste Begegnung der unerwünschten Klopfneigungen ist.

Wie groß die Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit bei ungünstigem Zusammentreffen der verschiedensten, das Kraftstoffklopfen begünstigenden Einflußkomponenten, sich im praktischen Betrieb auswirken kann, sei im folgenden berichtet.

Ein Markenbenzinkraftstoff, der nach den Bestimmungen des DVM, sowie bei einer Luftfeuchtigkeit von 40 % geprüft wurde, und dessen Oktanzahl mit 67/68 festgelegt wurde, kann bei den angeführten Annahmen folgenden Abfall des Oktanwertes erfahren, wenn man die Erfahrung mit unserer Motorentype zu Grunde legt.

Die ungeschickte Einstellung der Zündung, die im normalen Falle bei 13° Zündung v. ob. Totpunkt liegt, ruft bei einer Aenderung der Zündung von 13° auf 15° Zündung v. ob. Totpunkt einen Abfall der Kompressionsfestigkeit von $2^1/_2$ Oktaneinheiten hervor.

Erfährt fernerhin die Temperatur der Ansaugluft eine Steigerung um 10° C., also von 40 auf 50° C., so ist ein Abfall der Kompressionsfestigkeit von $3^1/_2$ Oktaneinheiten zu beobachten.

Ebenfalls kann auch die Erhöhung der Kühlwassertemperatur von ca. 70° auf 90° C. eine Verschlechterung der Kompressionsbeständigkeit hervorrufen. Der Abfall der Kompressionsfestigkeit beträgt in diesem Falle ungefähr 3 Oktaneinheiten.

Ein gleichzeitiges Zusammentreffen aller dieser ungünstigen Umstände setzt also die Kompressionsfestigkeit eines Markenbenzins um ca. 9 Oktaneinheiten herab, d. h., das Markenbenzin hat unter diesen Voraussetzungen praktisch nur einen Oktanwert von 58/59.

Das angeführte Beispiel zeigt deutlich, daß selbst bei einem gut durchkonstruierten Motor bei Verwendung des besten Kraftstoffes ungünstige Zersetzungserscheinungen auftreten können.

In solchen Fällen den Motor oder den Kraftstoff für die auftretenden Schäden verantwortlich zu machen, ist unmöglich. Derartige Klagen und Beanstandungen fallen zum

größten Teil auf den Fahrer oder Betriebshalter selbst zurück.

Die Beeinflussung der Kompressionsfestigkeit eines Kraftstoffes durch die oben erwähnten Möglichkeiten läßt die Frage aufwerfen, ob ein Kraftstoff unter günstigen oder ungünstigen Prüfbedingungen motorisch zu überprüfen ist. Es erscheint in diesem Falle berechtigt, sich für die motorische Untersuchung eines Kraftstoffes unter ungünstigen Prüfbedingungen einzusetzen.

Eine Prüfung der Kraftstoffe unter diesem Gesichtswinkel erfaßt auch die ungünstigsten Einflüsse, denen ein Kraftstoff ausgesetzt sein kann.

Die bisher gemachten Erfahrungen scheinen sich bei der Aenderung der Tourenzahl, hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes, entgegengesetzt auszuwirken. Die Steigerung der Umdrehungszahl bedingt eine Erhöhung des Wärmezustandes der Versuchsmaschine. Es müßte also mit der Erhöhung der Tourenzahl ein Abfallen der Kompressionsfestigkeit eintreten. Aus den durchgeführten Versuchen ergibt sich jedoch die entgegengesetzte Tendenz.

Dieser Widerspruch findet teilweise seine Erklärung in den schon erwähnten großen Schwierigkeiten, die bei der Festlegung des einwandfreien Klopfmomentes eines Kraftstoffes bei erhöhten Tourenzahlen auftreten.

Fernerhin möchte ich nochmals darauf hinweisen, daß die von mir gefundenen Werte an der Versuchsmotorentype des Laboratoriums der Techn. Hochschule Breslau nach der Gehörmethode festgestellt wurden. Wünschenswert wären Ergänzungsversuche, die an anderen Klopfmotorentypen vorgenommen werden, um die hier angeschnittenen Probleme von anderer Seite zu ergänzen und das generelle Auftreten der untersuchten Erscheinungen festzulegen.

H. Anhang.

Brennstoff- und Leistungsmessungen am Versuchsmotor.

Diese Messungen verfolgten den Zweck, die wirtschaftlichste Vergasereinstellung des Prüfmotors festzulegen. Im übrigen sei nochmals auf die Ausführungen des Abschnittes D. 3. hingewiesen.

Kraftstoff A.

Prüfdaten:	Luftdruck	755 mm Hg.
	Raumtemperatur	17° C.
	rel. Luftfeuchtigkeit	46 %
	Kühlwassereintrittemp.	12.5° C.
	Kühlwasseraustrittemp.	70° C.
	Oeltemperatur	40 „
	Luftansaugtemperatur	42 „
	Kraftstofftemperatur	10 „
	Gemischtemperatur	40 „
	Grad Zündung v. ob. Totpkt.	13
	Umdrehungen/min.	800

Die Messungen wurden bei einer Kompression 1 : 4,70 durchgeführt.

Brennstoffdüse	Luftdüse	Leistung PS	Brennstoffverbrauch gr/PSh
0.55	110	2.05	275.2
0.55	150	—	—
0.60	150	2.35	276.4
0.65	150	2.51	313.4
0.70	150	2.48	344.7
0.75	150	2.47	407.5
0.80	150	2.36	470.9

Die gewählte Luftdüse erwies sich bei den durchgeführten Messungen als die günstigste.

Die wirtschaftlichste Vergasereinstellung bedingt also die Wahl der Brennstoffdüse 0.60
Luftzusatzdüse 150.

Prüfdaten:		
	Luftdruck	765 mm Hg.
	Raumtemperatur	16° C.
	rel. Luftfeuchtigkeit	55 %
	Kühlwassereintrittemp.	12° C.
	Kühlwasseraustrittemp.	70° C.
	Oeltemperatur	42 „
	Luftansaugtemperatur	42 „
	Kraftstofftemperatur	12 „
	Gemischtemperatur	46 „
	Grad Zündung v. ob. Totpkt.	13
	Umdrehungen/min.	800

Folgenden Messungen wurde die Vergasereinstellung 0.60/150 zu Grunde gelegt (wirtschaftlichste Einstellung).

Tourenzahl pro min	Leistung PS		Brennstoffverbrauch gr/PSh	
700	2,16		275,8	
	2,16	2,16	280,9	278,9
	2,17		280,0	
800	2,34		276,4	
	2,35	2,34	276,4	276,4
	2,35		276,4	
900	2,48		279,9	
	2,47	2,46	282,4	281,8
	2,44		283,3	
1000	2,50		292,3	
	2,55	2,53	286,5	287,1
	2,55		282,7	

Bei den nächsten Messungen wurde die Vergasereinstellung 0,65/150 gewählt (Höchstleistung bei annehmbaren Brennstoffverbrauch).

Tourenzahl pro min	Leistung PS		Brennstoffverbrauch gr/PSh	
700	2,22		335,7	
	2,24	2,23	326,2	329,9
	2,24		328,0	
800	2,42		331,5	
	2,42	2,42	331,4	329,3
	2,42		325,1	

Tourenzahl pro min	Leistung PS		Brennstoff-verbrauch gr/PSh	
900	2,59		309,0	
	2,61	2,60	306,9	308,2
	2,61		308,7	
1000	2,77		301,8	
	2,74	2,75	307,1	305,6
	2,74		308,0	

Zur besseren Auswertung dieser Ergebnisse wurden dieselben in Tabelle A und B aufgezeichnet.

Kraftstoff D.

Kraftstoff- und Leistungsmessungen.

Bei den durgeführten Messungen mit Kraftstoff D zeigte es sich bald im Laufe der Untersuchungen, daß der Wahl der Luftzusatzdüse besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden mußte. Weiterhin wurden die Messungen mit Kraftstoff D bei drei verschiedenen Kompressionsverhältnissen durchgeführt, um gleichzeitig die Auswirkungen der Kompressionssteigerung zu beobachten.

Sämtliche Untersuchungen sind in den Tabellen C und D aufgezeichnet.

Prüfdaten:		
Luftdruck	745	mm Hg.
Raumtemperatur	11°	C.
rel. Luftfeuchtigkeit	40	%
Kühlwassereintrittemp.	9°	C.
Kühlwasseraustrittemp.	70°	C.
Oeltemperatur	46	„
Ansauglufttemperatur	42	„
Kraftstofftemperatur	11	„
Gemischtemperatur	36	„
Grad Zündung v. ob. Totpkt.	13	
Umdrehungszahl/min.	800	

Untersuchungen bei einem Kompressionsverhältnis von 1 : 5.08.

Brennstoffdüse	Luftdüse	Leistung PS	Brennstoff-verbrauch gr/PSh
0.60	140	2.71	291.4
0.60	150	2.64	289.6
0.60	160	2.56	286.4
0.65	140	2.95	325.3
0.65	150	2.94	315.4
0.65	160	2.95	300.1
0,70	140	2,97	342,8
0,70	150	2,98	333,9
0,70	160	2,97	320,3
0,75	140	2,91	413,3
0,75	150	2,90	400,9
0,75	160	2,96	386,0

Prüfdaten:

Luftdruck	749 mm Hg.
Raumtemperatur	99° C.
rel. Luftfeuchtigkeit	48 %
Kühlwassereintrittemp.	6° C.
Kühlwasseraustrittemp.	70° C.
Oeltemperatur	43 „
Ansauglufttemperatur	42 „
Kraftstofftemperatur	8 „
Gemischtemperatur	35 „
Grad Zündung v. ob. Totpkt.	13
Umdrehungszahl/min.	800

Die nächsten Untersuchungen wurden bei einem Kompressionsverhältnis von 1 : 5,42 durchgeführt.

Brennstoff-düse	Luftdüse	Leistung PS		Brennstoff-verbrauch gr/PSh	
0,70	140	3,01		353,8	
0,70	140	3,01	3,00	344,8	348,4
0,70	140	2,98		346,6	
0,70	150	2,98		339,0	
0,70	150	2,98	2,98	339,0	339,0
0,70	160	2,96		331,1	
0,70	160	2,96	2,96	331,1	331,1
0,75	140	2,90	2,90	422,8	419,8
0,75	140	2,90		416,8	

Brennstoff-düse	Luftdüse	Leistung PS		Brennstoff-verbrauch gr/PSh	
0,75	150	2,93		397,1	
0,75	150	2,96	2,95	394,9	397,2
0,75	150	2,96		399,8	
0,75	160	3,02	3,01	361,0	362,8
0,75	160	3,01		364,7	

Prüfdaten:		
Luftdruck	741	mm Hg.
Raumtemperatur	10°	C.
rel. Luftfeuchtigkeit	40	%
Kühlwassereintrittemp.	6°	C.
Kühlwasseraustrittemp.	70°	C.
Oeltemperatur	40	„
Ansauglufttemperatur	42	„
Kraftstofftemperatur	8	„
Gemischtemperatur	35	„
Grad Zündung v. ob. Totpkt.	13	
Umdrehungszahl/min.	800	

Die folgenden Untersuchungen wurden bei einem Kompressionsverhältnis von 1 : 5,85 durchgeführt.

Brennstoff-düse	Luftdüse	Leistung PS		Brennstoff-verbrauch gr/PSh	
0,60	140	2,90	2,90	271,3	270,5
0,60	140	2,90		269,8	
0,60	150	2,82	2,82	271,5	271,1
0,60	150	2,82		270,8	
0,60	160	2,69	2,69	269,2	268,8
0,60	160	2,69		268,5	
0,65	140	3,18	3,18	299,3	296,6
0,65	140	3,18		294,0	
0,65	150	3,20	3,20	289,4	294,4
0,65	150	3,20		299,5	
0,65	160	3,18		282,6	
0,65	160	3,12	3,15	280,4	282,4
0,65	160	3,18		284,3	
0,70	140	3,15	3,15	326,0	327,9
0,70	140	3,15		329,8	
0,70	150	3,15		314,6	

Brennstoffdüse	Luftdüse	Leistung PS		Brennstoffverbrauch gr/PSh	
0,70	150	3,14	3,14	313,2	313,9
0,70	160	3,14		302,8	
0,70	160	3,14	3,14	302,8	302,8
0,75	140	3,14		332,7	
0,75	140	3,14	3,14	332,7	332,7
0,75	150	3,13		364,3	
0,75	150	3,13	3,13	368,6	366,4
0,75	160	3,14		366,3	
0,75	160	3,20	3,17	349,5	357,9

Prüfdaten: Luftdruck 757 mm Hg.

Raumtemperatur	9° C.
rel. Luftfeuchtigkeit	43 %
Kühlwassereintrittemp.	8° C.
Kühlwasseraustrittemp.	70° C.
Oeltemperatur	40 „
Ansauglufttemperatur	42 „
Kraftstofftemperatur	11 „
Gemischtemperatur	36 „
Grad Zündung v. ob. Totpkt.	13
Umdrehungszahl/min.	800

Die nächstfolgenden Messungen wurden bei drei verschiedenen Kompressionsverhältnissen und zwar bei

1 : 5,85; 1 : 5,42; 1 : 5,08

durchgeführt.

Brennstoffdüse	Luftdüse	Leistung PS		Brennstoffverbrauch gr/PSh		
0,55	90	ca. 2,43		280,6		Motor
0,55	70	2,54		271,5		geht unruhig
0,60	130	3,11		265,7		
0,60	130	3,11	3,11	265,7	265,7	
0,60	120	3,00		283,0		
0,60	120	3,04	3,02	280,9	281,9	
0,65	130	3,13		319,9		
0,65	120	3,12		334,8		
Kompressionsverhältnis: 1 : 5,42.						
0,60	130	3,01		275,0		
0,60	130	3,01	3,01	274,8	274,9	
0,60	120	2,97		287,6		

Brennstoffdüse	Luftdüse	Leistung PS		Brennstoffverbrauch gr/PSh	
0,60	120	2,94	2,95	287,5	287,55
0,65	130	3,05		331,9	
0,65	120	3,01		341,2	
Kompressionsverhältnis: 1 : 5,08.					
0,60	130	2,94	2,94	280,8	281,0
0,60	130	2,94		281,2	
0,60	120	2,06	2,07	407,8	404,2
0,60	120	2,09		400,6	
0,65	130	2,99		304,7	
0,65	120	2,96		351,3	

Prüfdaten:	
Luftdruck	750 mm Hg.
Raumtemperatur	10° C.
rel. Luftfeuchtigkeit	45 %
Kühlwassereintrittemp.	8° C.
Kühlwasseraustrittemp.	70° C.
Oeltemperatur	46 „
Ansauglufttemperatur	42 „
Kraftstofftemperatur	5 „
Gemischtemperatur	37 „
Grad Zündung v. ob. Totpkt.	13
Umdrehungszahl/min.	800

Die nächst folgenden Untersuchungen wurden bei einem Kompressionsverhältnis von 1 : 5,85 durchgeführt. Und zwar zuerst bei der Düseneinstellung 0,60/130 (Größte Wirtschaftlichkeit). Sodann bei der Düseneinstellung 0,65/150 (Höchstleistung).

	Umdrehungszahl/min	Leistung PS	Brennstoffverbrauch gr/PSh
Düse: 0,60/130	700	2,70	287,3
	800	3,04	267,3
	900	3,15	272,2
	1000	3,18	279,4
Düse: 0,65/150	700	2,77	318,4
	800	3,10	303,0
	900	3,34	295,6
	1000	3,55	280,9

Literaturangaben.

1. Kraftstoffe und Schmierstoffe. Wa. Ostwald, Enoch, Weller.
2. Kraftstoffe, Verbrennung und Schwerölvergasermotoren. A. E. Thiemann.
3. DVL-Bericht. Kf. 40/7 12. 5. 31.
4. Kohlenwasserstoffe und Fette. D. Holde.
5. Schnellaufende Verbrennungskraftmaschinen. Ricardo 1926/31.
6. Forschungsarbeiten der DVL., Stoffabteilg. „Vergleichende motorische Versuche von Kraftstoffen". 1. und 2. Teil.
7. SAE-Journal Mai 1927.
8. Das Klopfen von Zündmotoren. K. Schnauffer.
9. Ueber Zündpunkte und Verbrennungsvorgänge in Dieselmotoren. J. Tauß und Schulte.
10. Brennstoffchemie 1927. S. 357.
11. Erdöl und Teer 1930 S. 184.
12. Ind. and Eng. Chem. 1931. Vol. 23 Ste. 26.
13. Ueber die Beziehungen zwischen Konstitution und Klopffestigkeit von Kohlenwasserstoffen. Brennstoffchemie B. 13, Heft Nr. 9, 1. Mai 32. Fr. Hofmann, K. Lang. K. Berlin, A. W. Schmidt.
14. „Veröffentlicht in Bd. 5. 1931. Von den Kohlen und den Mineralölen". A. W. Schmidt.
15. Angaben des Observatoriums Breslau-Krietern.
16. Der Kulturtechniker. 1930. Jahrgang 33. Heft 2. S, 105,
17. SAE-Journal 1931. Effect of Humidity and Air Temperature on Octane Numbers of Secondary Detonation-Standards.
18. SAE-Journal 1931 July.
19. DVM, Uebersetzter Auszug aus der Niederschrift über die 4. Versammlung des Standardization Sub-Committee Nr. 9, am 8. Jan. 1932 in London.
20. DVM, Vorläufige Niederschrift über die Versammlung des Untersuchungsausschusses zur Ausarbeitung von Klopfprüfverfahren des Cooperative Fuel Research Steering Committee am 16. 6. 1932.

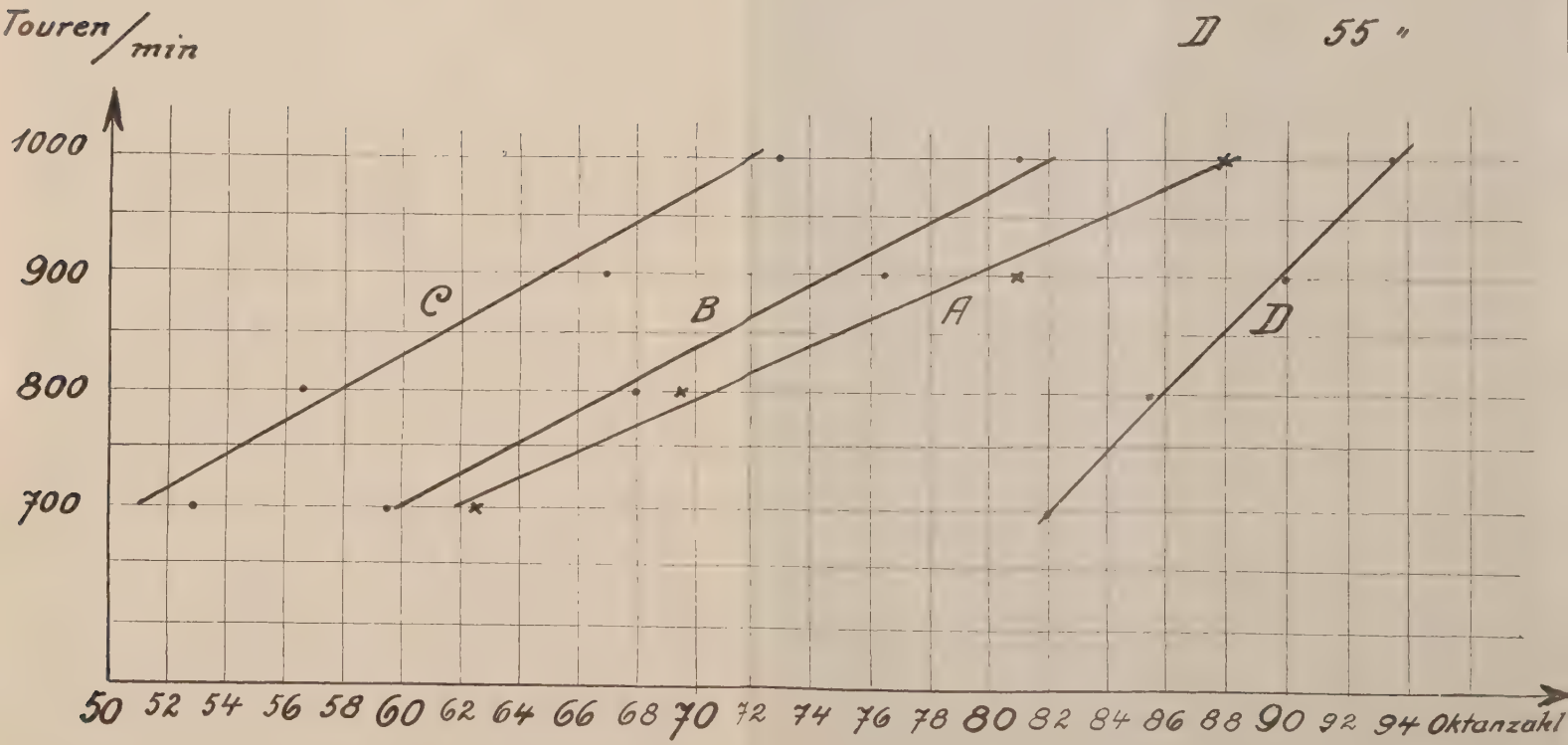
Lebenslauf.

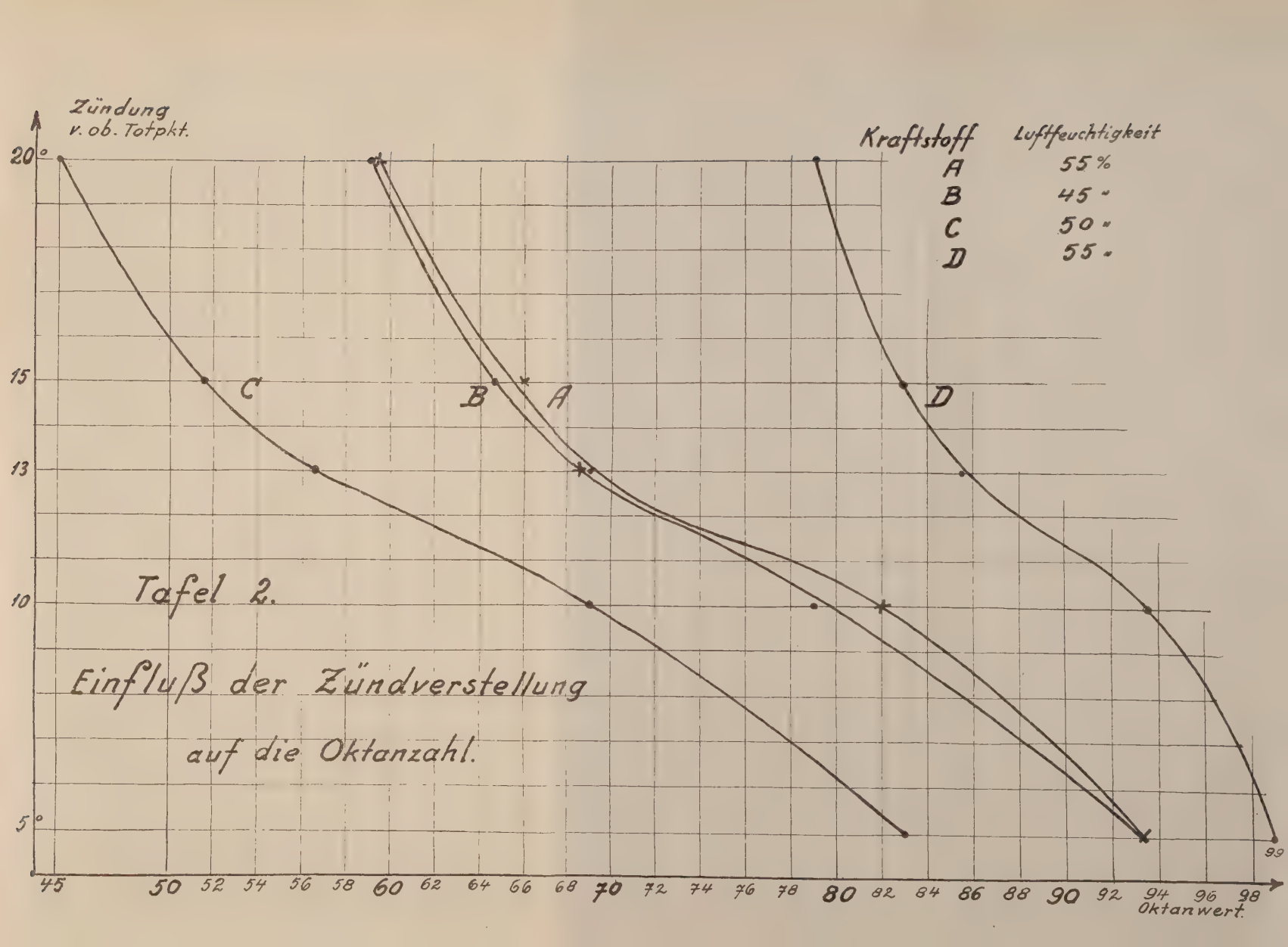
Am 10. Dezember 1903 wurde ich, Fritz Seeber, als Sohn des Ingenieurs Friedrich Seeber zu Tarnowitz O/S. geboren. Ich besuchte die Oberrealschulen zu Hamburg-Uhlenhorst, Dessau und Krefeld. Mein Reifezeugnis erlangte ich Ostern 1925 in Krefeld. Ich studierte vom Oktober 1925 bis März 1930 an der Technischen Hochschule Stuttgart das Maschineningenieurwesen. Als Praktikant arbeitete ich während der Hochschulferien in den Maschinenfabriken Gebr. Meer, München-Gladbach; Reichling u. Co., Krefeld-Königshof; Friedrich Heckmann, Breslau und in der Metallwarenfabrik Beuttenmüller, Bretten (Baden). Seit Februar 1931 bin ich Assistent im Versuchslaboratorium für motorische Eignung flüssiger Brennstoffe und Schmiermittel an der Technischen Hochschule zu Breslau.

Einfluß der Tourenzahl auf die Oktanzahl.

Tafel 1.

		Luftfeuchtigkeit
Kraftstoff	A	55 %
	B	47 "
	C	50 "
	D	55 "

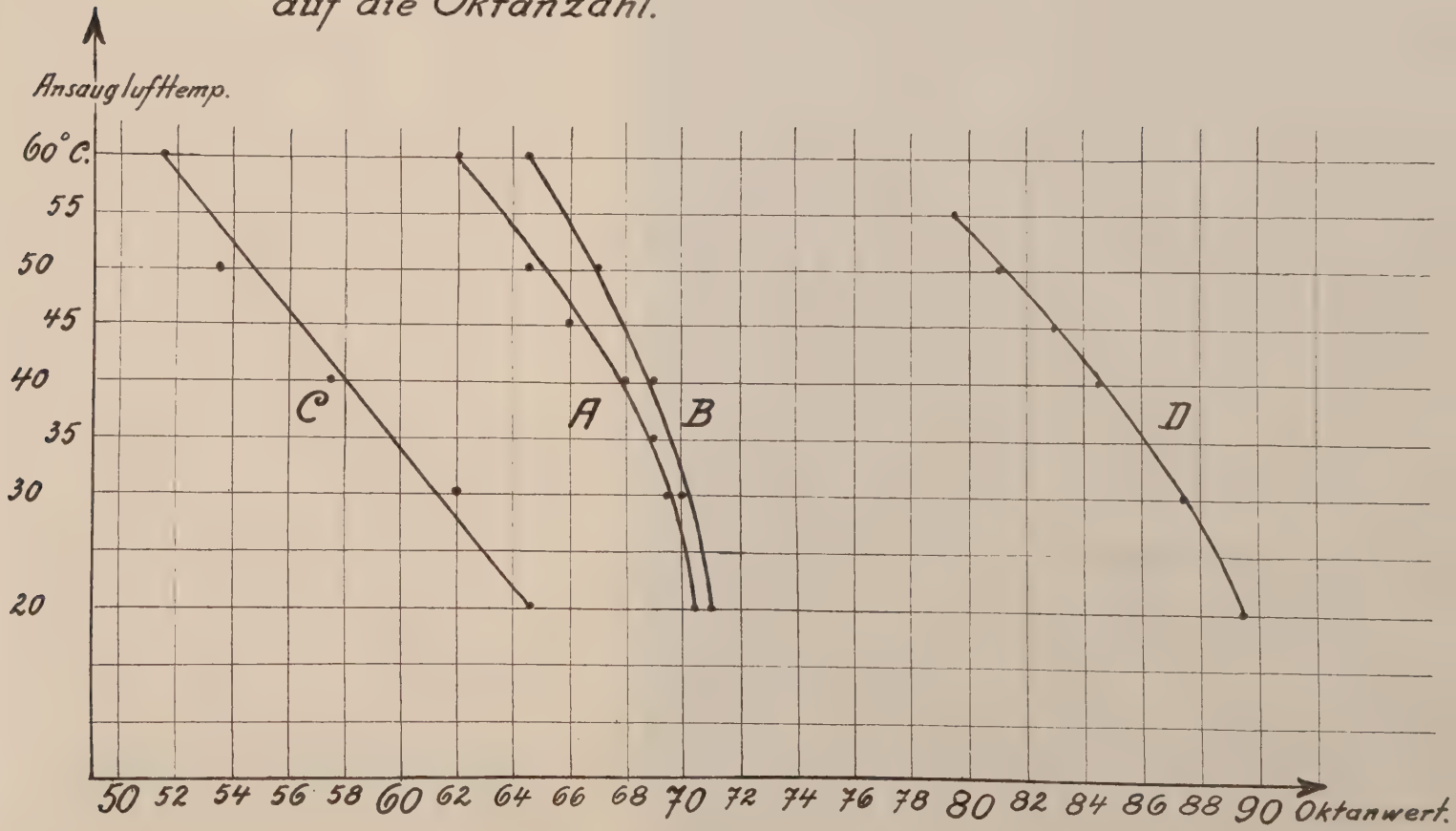



Zündung
v. ob. Totpkt.
20°
15
13
10
5°
Kraftstoff
Luftfeuchtigkeit
A 55%
B 45 "
C 50 "
D 55 "
C
B
A
D
Tafel 2.
Einfluß der Zündverstellung
auf die Oktanzahl.
45 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 99
Oktanwert.

Tafel 3.

Einfluß der Ansaugluftemperatur auf die Oktanzahl.

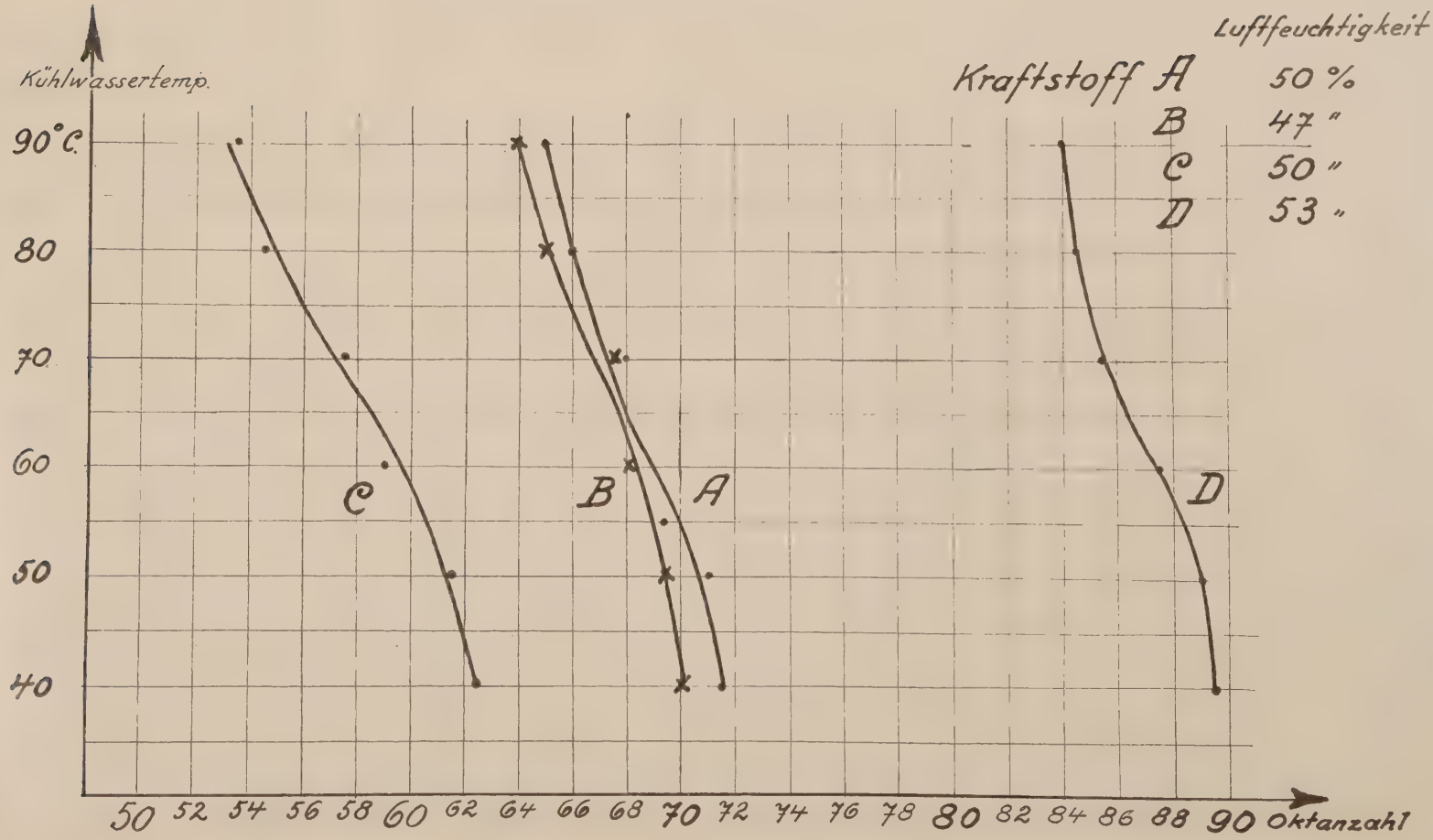
Kraftstoff		Luftfeuchtigkeit
	A	50 %
	B	45 "
	C	50 "
	D	50 "



Tafel 3

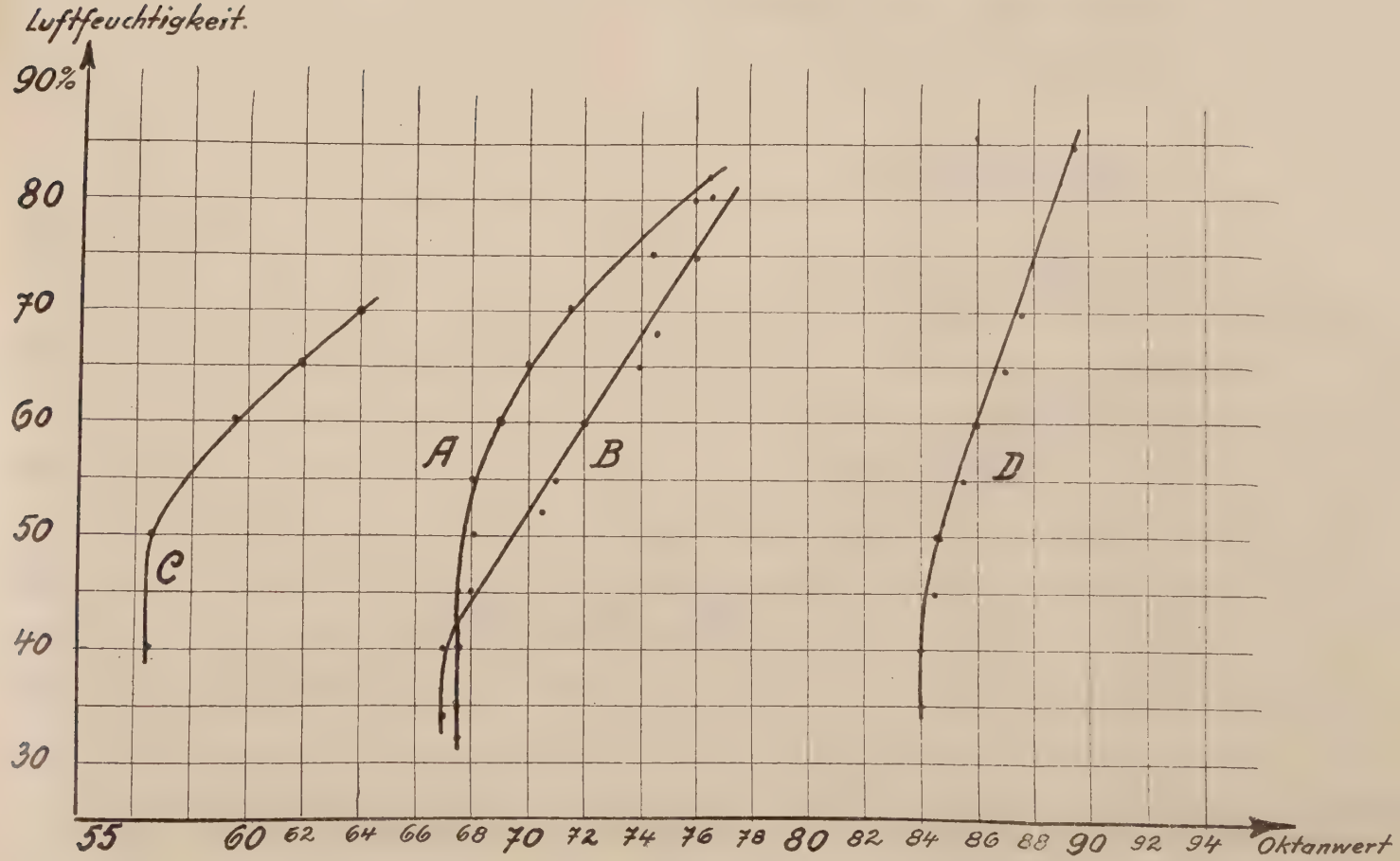
Einfluß der Kühlwassertemperatur auf die Oktanzahl.

Tafel 4.



Tafel 5.

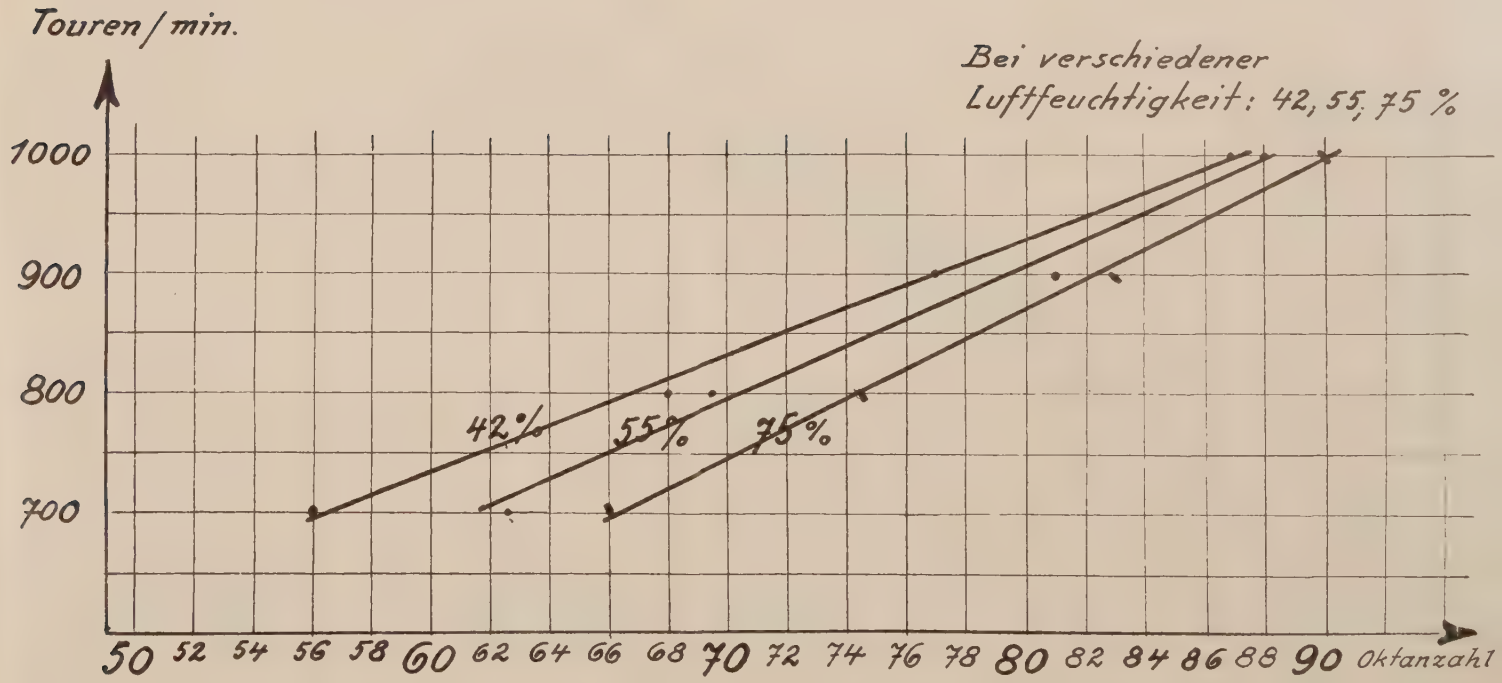
Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Oktanzahl.



Tafel 6.

Einfluß der Tourenzahl auf die Oktanzahl

Kraftstoff A.



Einfluß der Zündverstellung
auf die Oktanzahl.

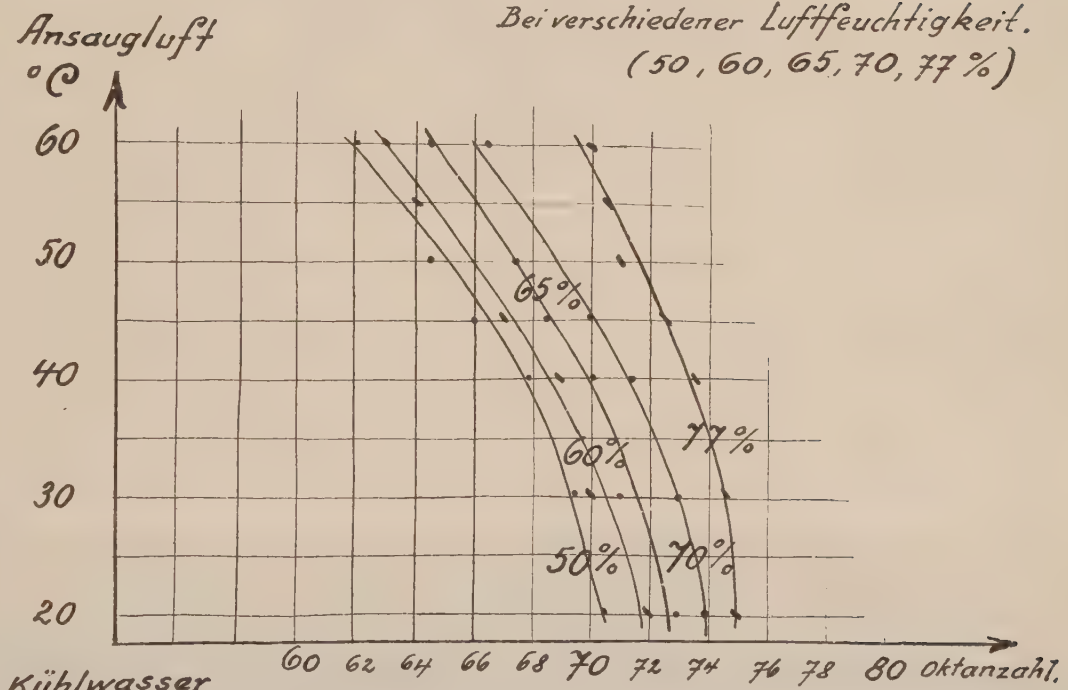
Kraftstoff A, Veränderung
der Luftfeuchtigkeit.
(42, 55, 60, 77 %)

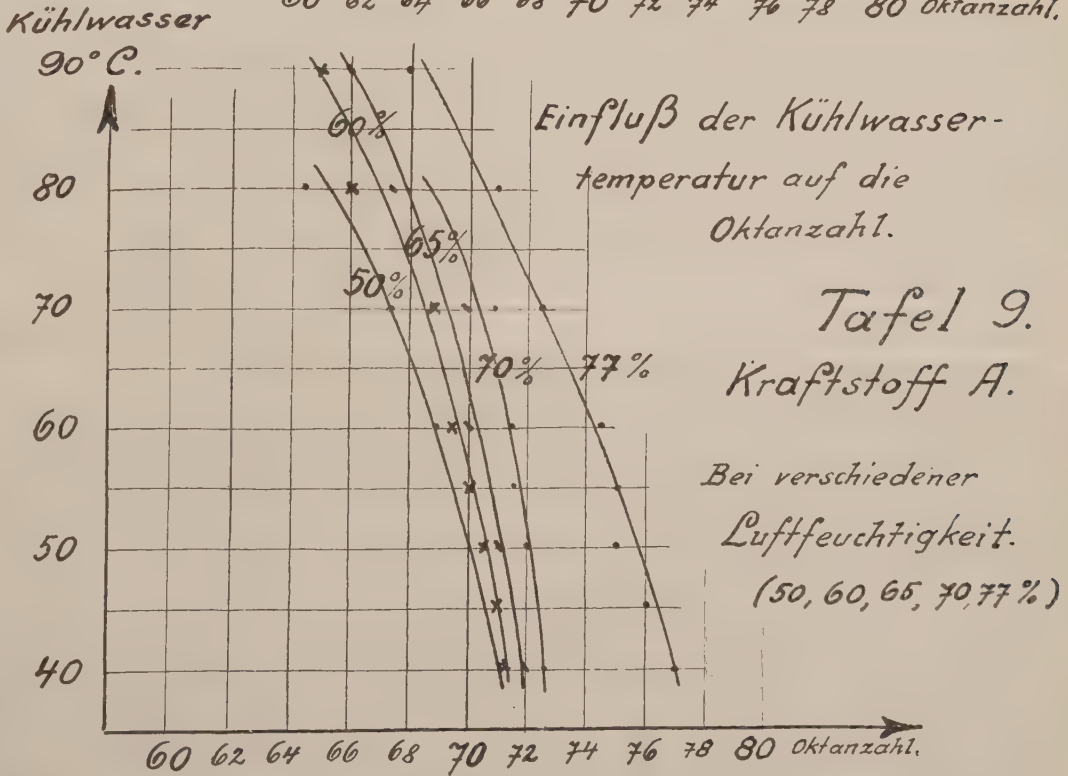
Tafel 7.

Tafel 8.

Einfluß der Ansaugluftemperatur auf die Oktanzahl. Kraftstoff A.

Bei verschiedener Luftfeuchtigkeit.
(50, 60, 65, 70, 77 %)



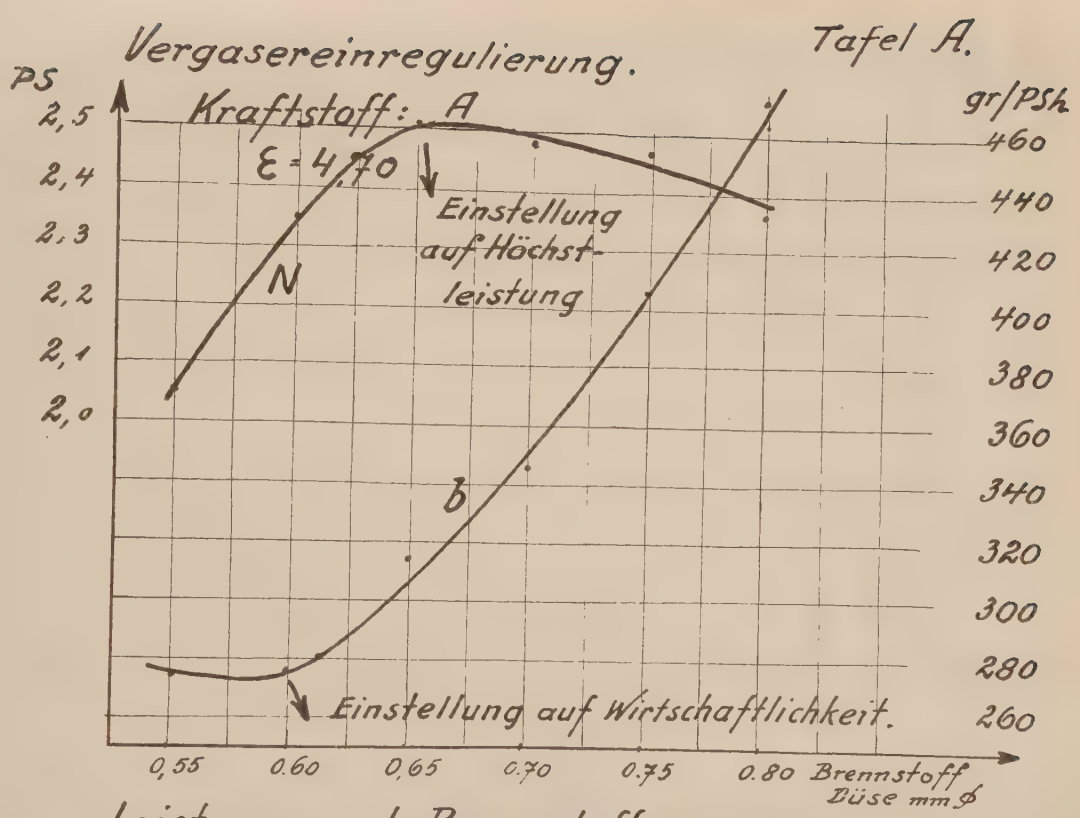


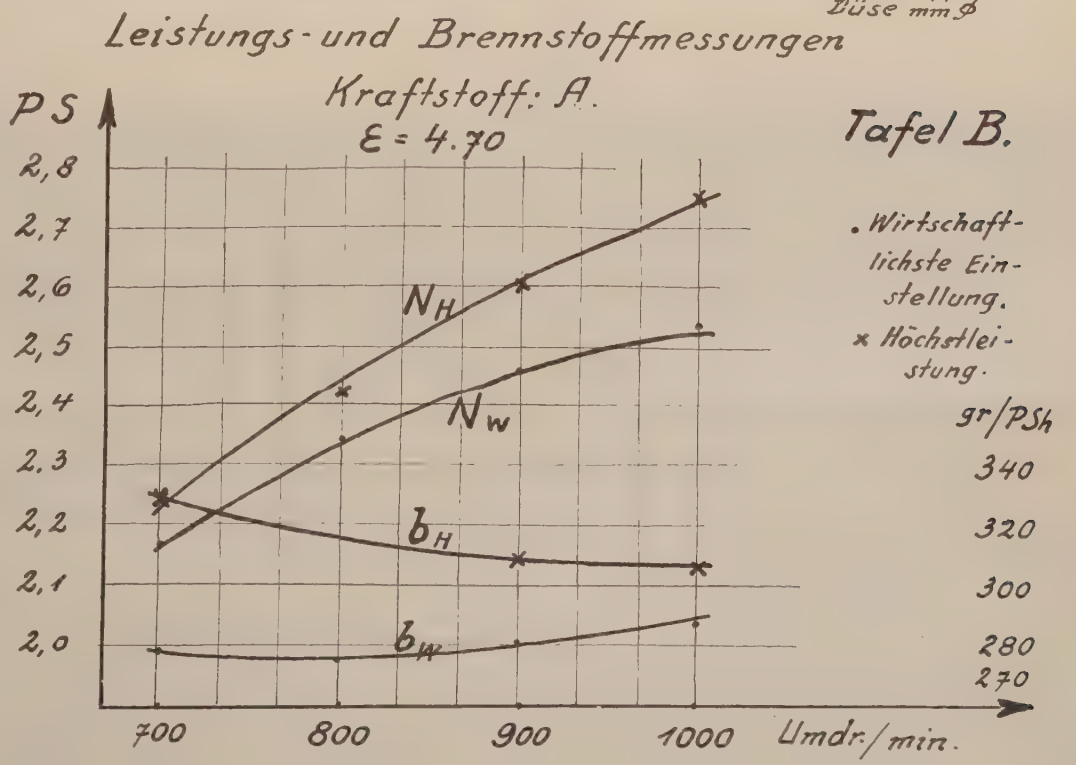
Einfluß der Kühlwasser-temperatur auf die Oktanzahl.

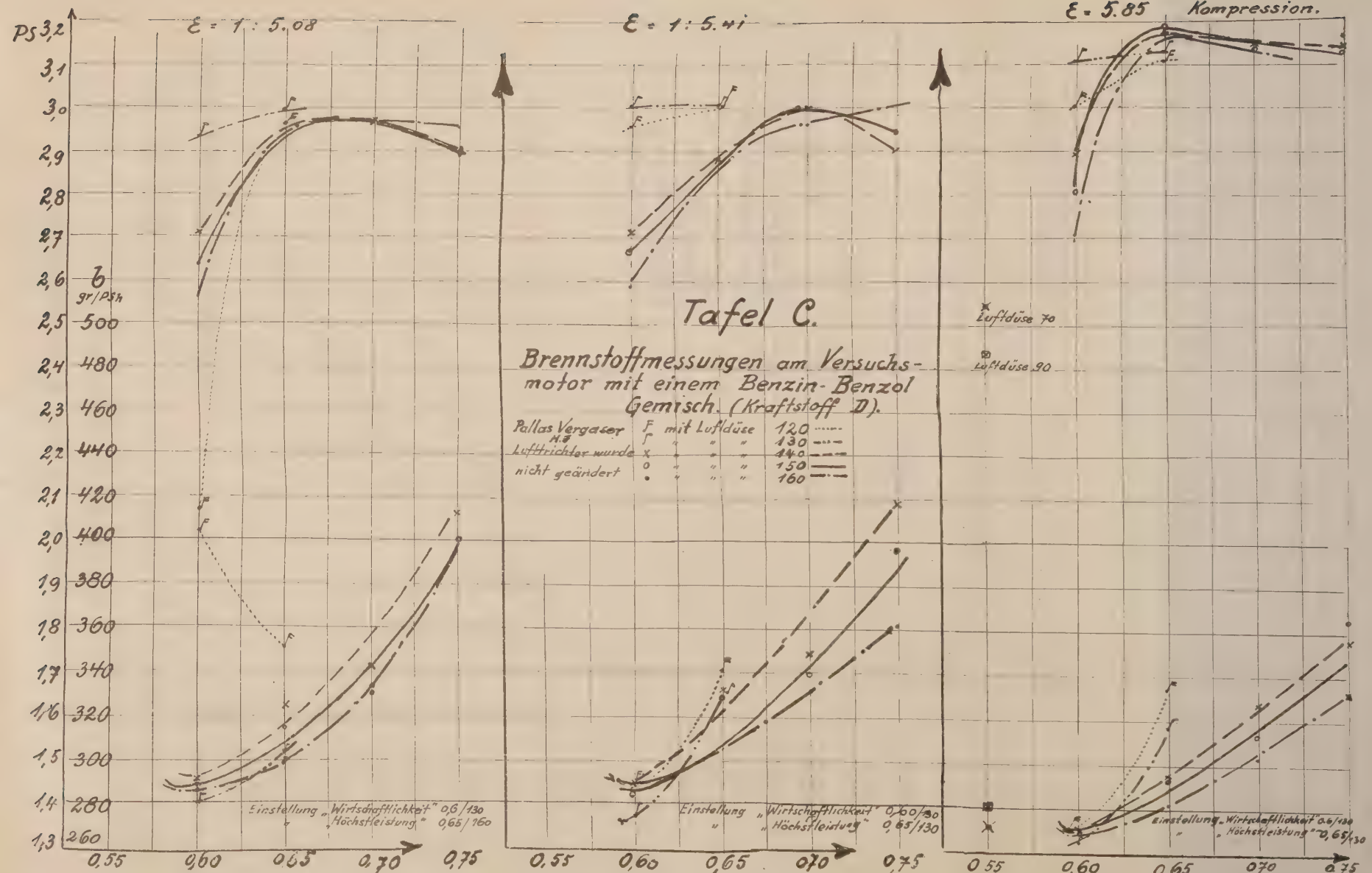
Tafel 9.

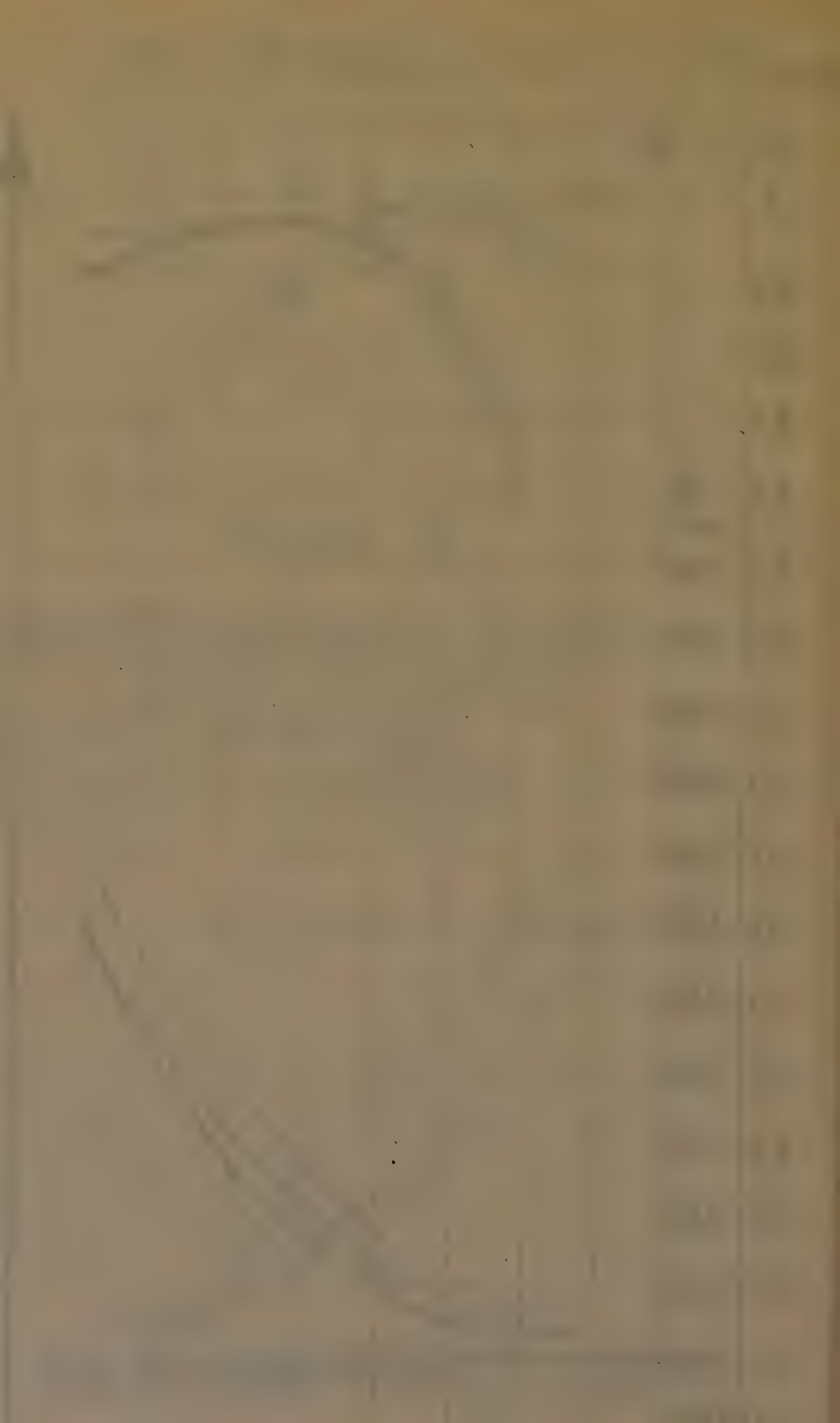
Kraftstoff A.

Bei verschiedener Luftfeuchtigkeit.
(50, 60, 65, 70, 77 %)


Vergasereinregulierung.
Tafel A.
PS
gr/PSh
Kraftstoff: A
ε = 4,70
Einstellung auf Höchstleistung
N
b
Einstellung auf Wirtschaftlichkeit.
2,5
2,4
2,3
2,2
2,1
2,0
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
0,55
0.60
0,65
0.70
0.75
0.80
Brennstoff Düse mm ⌀

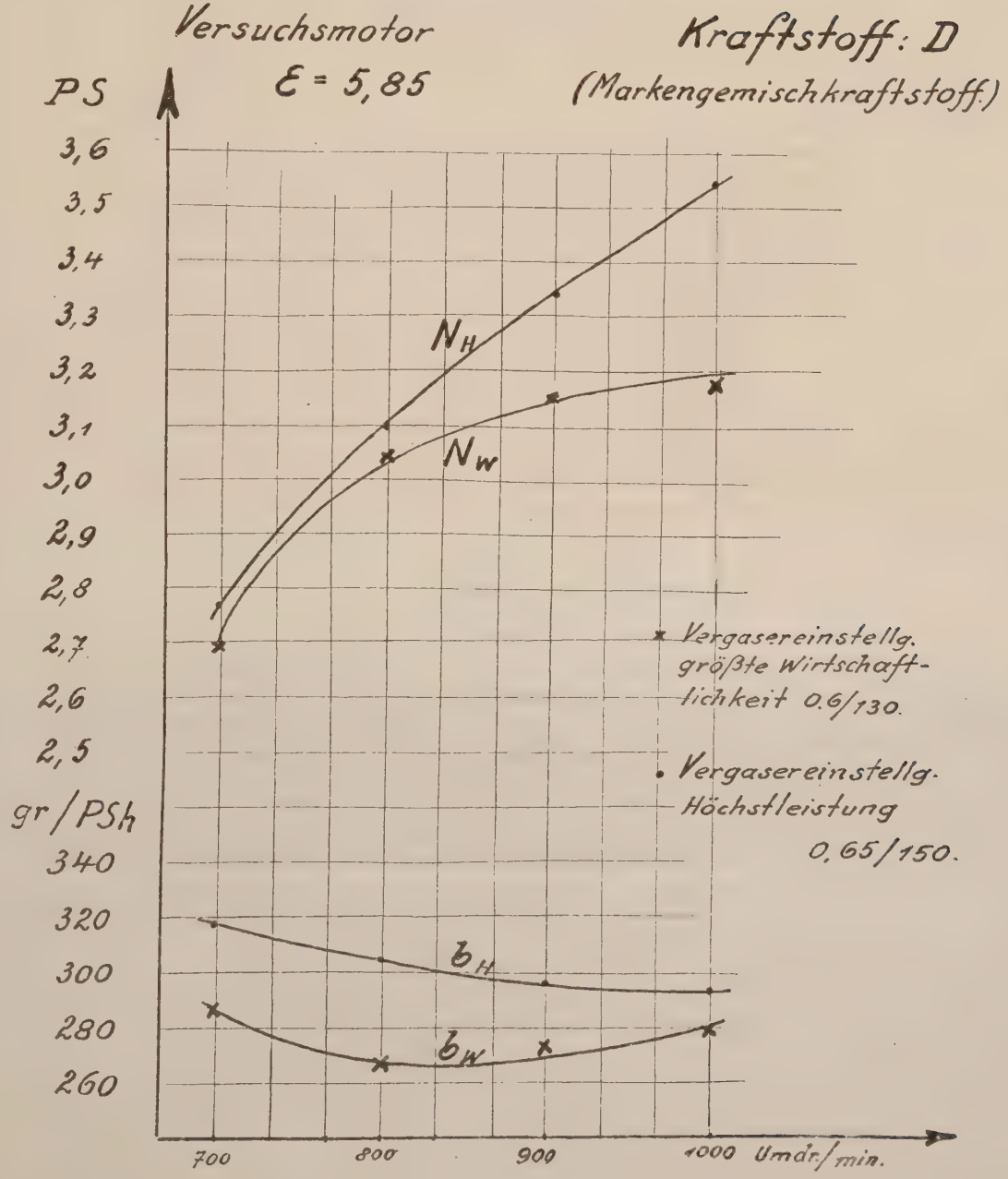

Leistungs- und Brennstoffmessungen
Kraftstoff: A.
ε = 4.70
Tafel B.
PS
gr/PSh
• Wirtschaftlichste Einstellung.
× Höchstleistung.
N_H
N_W
b_H
b_W
2,8
2,7
2,6
2,5
2,4
2,3
2,2
2,1
2,0
340
320
300
280
270
700
800
900
1000
Umdr./min.


ε = 1 : 5.08
ε = 1 : 5.41
ε = 5.85 Kompression.
PS
b gr/PSh
Tafel C.
Brennstoffmessungen am Versuchs-motor mit einem Benzin-Benzol Gemisch. (Kraftstoff D).
Pallas Vergaser H.3 Lufttrichter wurde nicht geändert
F mit Luftdüse 120
" " 130
" " 140
" " 150
" " 160
Luftdüse 70
Luftdüse 90
Einstellung „Wirtschaftlichkeit" 0,6/130
„Höchstleistung" 0,65/160
Einstellung „Wirtschaftlichkeit" 0,60/130
„Höchstleistung" 0,65/130
Einstellung „Wirtschaftlichkeit" 0,6/130
„Höchstleistung" 0,65/130
0,55 0,60 0,65 0,70 0,75
Brennstoffdüse

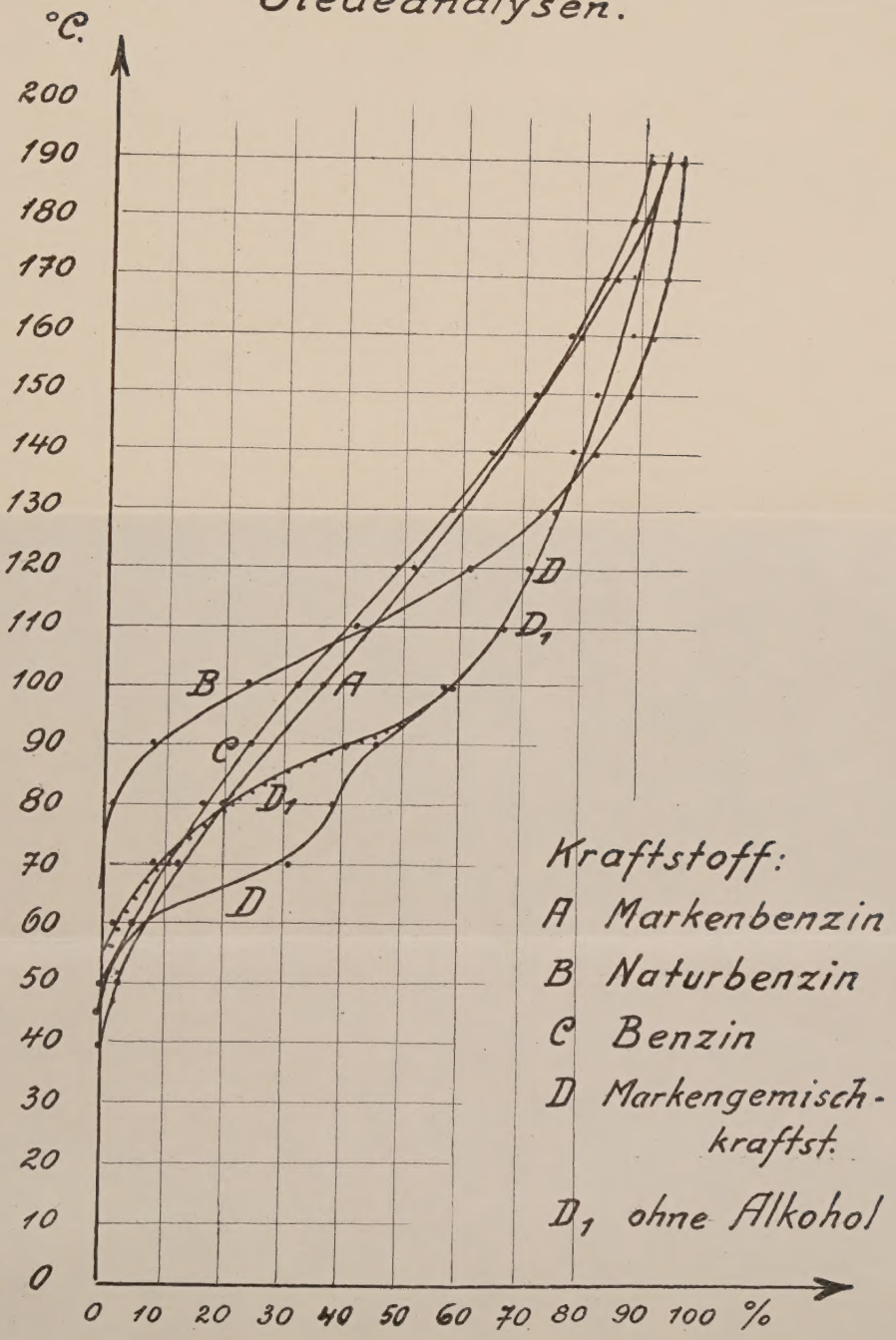


Tafel D.

Leistungs - und Brennstoff-verbrauchskurven.



Siedeanalysen.



Tafel 2.
Niederschlag.
Wasserstoff.
Mutterlauge.